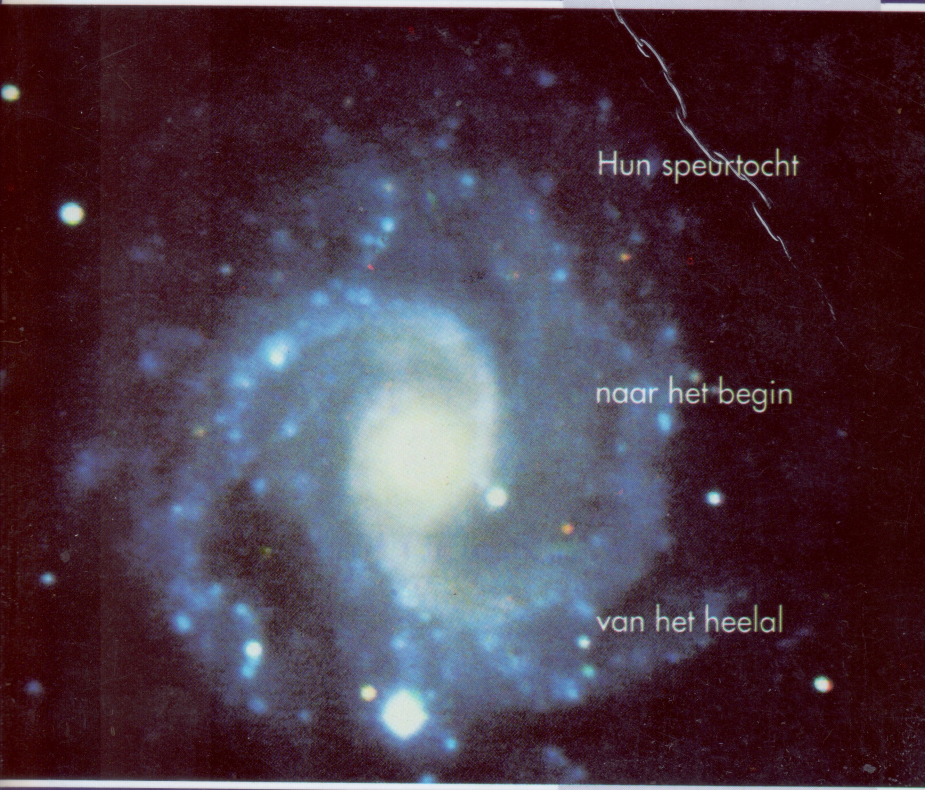
ANNEX

Mensen zoals wij



Hun speurtocht

naar het begin

van het heelal

René van Helden

Mensen zoals wij

René van Helden

Mensen zoals wij

Hun speurtocht naar het begin van het heelal

Uitgeverij Annex

COLOFON

Boeken van uitgeverij Annex
worden in de handel gebracht door:
ef & ef, Beusichem
Verspreiding in België:
Uitgeverij Kritak, Leuven

Omslagontwerp en typografie:
Elsbeth Horneman (Annex)
Foto's omslag: Spiral Galaxy-NGC 3184: Sterrenwacht 'Sonnenborgh', Utrecht
Niels Bohr, Albert Einstein: ABC Press
Maria Goeppert-Mayer en Max Born: AIP Niels Bohr Library
Zetwerk: Niek van Dijk
Lithografie: Color Techniek
Drukwerk omslag: Drukwerkplaats Abbekerk
Druk- en bindwerk: Krips Repro Meppel

Copyright © 1990 by René van Helden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Annex Productions, Postbus 63002, 1005 LA Amsterdam.
No part of this book may be reproduced in any form, by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from Annex Productions, Amsterdam.

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG
Helden, René van
Mensen zoals wij: hun speurtocht naar de oorsprong van het heelal / René van Helden. – Amsterdam: Annex
Met lit. opg., reg.
ISBN 90-5174-004-2
SISO 552.2 UDC 524.8 NUGI 673
Trefw.: heelal.

INHOUD

Voorwoord

Inleiding

1 De fysici 11

2 De astrofysicus 21

3 Een gekleurde jongen uit de kolonie 33

4 Ha! een vrouw 45

5 De energie van de zon 59

6 De verantwoordelijkheid van de fysici 71

7 Een spel met getallen 81

8 George Gamov en Mr. C.G.H. Tompkins 93

9 B kwadraat FH 109

10 Een heelal van gemiste kansen 123

11 Verleden 133

12 Heden bestaat niet 141

13 Toekomst 145

14 Achter elke naam een verhaal 151

Literatuur 169

VOORWOORD

Wij leven in een tijd waarin fascinerende ontdekkingen worden gedaan. Natuurkundigen maken die bekend in het jargon van hun vak en ze gebruiken daarbij de taal van de wiskunde. Dit is een ideale manier om informatie over te dragen aan collega's, maar tegelijkertijd werpt het een barrière op voor buitenstaanders. Hierdoor is dit vak ontoegankelijk geworden en is de indruk ontstaan dat de beoefenaars geen gewone stervelingen zijn. Niets is minder waar. Natuurkundigen onderscheiden zich maar in één opzicht van alle andere mensen en dat is dat ze beroepshalve natuurkundig onderzoek doen. De beroemde Niels Bohr, die ontdekte hoe atomen zijn gebouwd, was gek op voetballen. En Eddington, die als eerste de temperatuur binnenin de zon kon uitrekenen, maakte iedere vakantie lange fietstochten.

Natuurkundigen zijn mensen zoals wij.

Het idee dit boek te schrijven kreeg ik tijdens en cursus voor natuurkunde-studenten bij de Hogeschool Midden Nederland in Utrecht. Lesgeven kan heel stimulerend zijn en soms zijn de studenten zo enthousiast dat de docent gemotiveerd wordt een boek te schrijven. Dit boek is daar een voorbeeld van.

Mijn collega en vriend Ad de Hartog heeft het manuscript zorgvuldig bestudeerd en als het boek plezierig leest, komt dat door onze vele gesprekken over natuurkundigen.

Bunnik, november 1989

INLEIDING

De wereld om ons heen en ook wijzelf zijn opgebouwd uit de atomen van de chemische elementen. De bijna oneindige gevarieerdheid van levensvormen is mogelijk geworden doordat deze bouwstenen zich tijdens de evolutie van het leven in allerlei structuren zijn gaan ordenen. Dit proces is ongeveer 4,5 miljard jaar geleden begonnen, kort na het ontstaan van de aarde. Toch kunnen we dit niet het begin van de evolutie noemen. Al veel eerder in de geschiedenis van het heelal zijn de chemische elementen ontstaan toen nog kleinere bouwstenen zich gingen rangschikken.

Niet al deze elementen komen even veelvuldig voor. Waterstof en silicium, waarvan de verbindingen met zuurstof de namen water en zand hebben gekregen, zijn overvloedig op aarde aanwezig terwijl platina en goud veel zeldzamer zijn. In het algemeen geldt dat een element minder voorkomt naarmate het zwaarder is. Maar we mogen niet zeggen dat alle zware elementen even zeldzaam zijn. Onder al die weinig vóórkomende elementen zijn toch heel markante verschillen. Op zich hoeft dit niet te verbazen. De chemische samenstelling van de aarde zou bepaald kunnen zijn door toevallige factoren die in de loop van de geschiedenis een rol hebben gespeeld, maar dit blijkt geen juiste veronderstelling. De laatste 50 jaar is veel bekend geworden over de chemische samenstelling van planeten en sterren. Op een enkele uitzondering na blijken alle hemellichamen precies dezelfde chemische samenstelling te hebben als de planeet waarop wij leven. Voor zover wij weten geldt dit voor het hele heelal. Het vóórkomen van de elementen moet dus wel samenhangen met de bouw van het heelal en met de wijze waarop het heelal evolueert. Deze evolutie, waarbij zware elementen ontstaan en lichte verdwijnen, is nog steeds aan de gang.

De meeste evolutionaire processen op aarde en in het heelal gaan heel geleidelijk zodat zij tijdens een mensenleven niet opvallen. Toch vinden soms catastrofale gebeurtenissen plaats die in korte tijd grote veranderingen veroorzaken. Als een zware ster aan het eind van zijn leven komt volgen de gebeurtenissen zich in een razend snel tempo op waarbij een grote verscheidenheid aan elementen ontstaat. Door een catastrofale explosie vernietigt de ster zichzelf en de nieuwe elementen worden de ruimte ingeblazen. Binnen enkele minuten verandert in dat deel van het heelal de chemische samenstelling volledig.

Tegenwoordig hebben we een duidelijk beeld van deze gebeurtenissen, die ook in talloze boeken worden beschreven. Veel minder bekend is, hoe men tot deze inzichten is gekomen en wie de mensen zijn die deze ontdekkingen hebben gedaan. Het is niet eenvoudig méér over deze wetenschappers te weten te komen want slechts een enkeling gunt zichzelf de tijd een biografie te schrijven.

In talrijke laboratoria en instituten verspreid over de wereld wordt natuurwetenschappelijk onderzoek gedaan. Van veel ontdekkingen blijkt pas na jaren dat het de ontbrekende stukjes zijn van een puzzel die anderen proberen op te lossen. Dit geldt ook voor de meest intrigerende puzzel die de natuur ons heeft gegeven: de vraag naar ons begin, naar de oorsprong van het heelal. Nu steeds meer stukken van deze puzzel op hun plaats komen te liggen, wordt duidelijk wat de belangrijkste stappen zijn geweest bij dit onderzoek. Het is heel verrassend te kunnen constateren dat door het werk van slechts enkele tientallen vrouwen en mannen de belangrijkste stukken van de puzzel zijn gevonden. Het leven en werk van deze onderzoekers is het onderwerp van dit boek.

1 DE FYSICI

Het moet in het voorjaar van 1922 zijn geweest toen Wolfgang Pauli naar Kopenhagen reisde, de trein kwam uit Zürich en stopte maar even in Göttingen. Pauli leunde uit het raampje van zijn coupé en keek naar de torens van de oude stad. Zijn gedachten dwaalden terug naar het jaar daarvoor toen hij hier voor de eerste maal was geweest en had gewandeld in de ommuurde binnenstad met zijn prachtige gothische gebouwen. Hij studeerde toen nog in München en zijn hoogleraar Sommerfeld had hem gevraagd mee te gaan naar de conferentie die door professor Franck werd georganiseerd.

James Franck was directeur van het moderne Fysisch Laboratorium in het zuiden van de stad, ongeveer tien minuten lopen van het centrum waar de overige universiteitsgebouwen stonden. Door zijn experimenten probeerde hij meer inzicht te krijgen in de bouw van atomen en moleculen. Dit onderdeel van de natuurkunde lag in die jaren aan het front van het wetenschappelijk onderzoek, vooral door het theoretisch werk van Niels Bohr die ook op de conferentie was geweest.

Niels Bohr had grote indruk gemaakt op Pauli en het omgekeerde moet ook het geval zijn geweest, want hij werd uitgenodigd enige tijd in Kopenhagen te komen werken op het Institut For Teoretisk Fysik. Daarom was hij nu weer in Göttingen, maar Pauli had geen tijd de reis een dag te onderbreken om in het Fysisch Laboratorium vrienden van vorig jaar te bezoeken.

Franck en Pauli waren twee geniale fysici, maar wel volstrekt verschillend. Franck's specialiteit was de experimentele natuurkunde terwijl Pauli een theoreticus was. Deze delen van de natuurkunde zijn zo gespecialiseerd dat het aparte vakken zijn geworden met eigen methoden van onderzoek. Het komt dan ook maar heel zelden voor dat een goed theoreticus ook een bekwaam experimentator is en de corpulente goedlachse Wolfgang Pauli had zeer beslist geen experimentele vaardighe-

den, om het maar heel vriendelijk te zeggen. Experimentele fysici beweerden zelfs dat Pauli door een geheimzinnige kracht hun onderzoek beïnvloedde als hij in de buurt van een laboratorium kwam. Een bezoek van Pauli werd als een ramp ervaren want altijd gebeurde er iets onverwachts waardoor de experimenten de mist in gingen.

Die middag in het voorjaar van 1922 toen Pauli even in Göttingen was, ging het niet naar wens op de afdeling van Franck in het Fysisch Laboratorium. Hij was bezig met een opstelling waarvan een glazen kolf met gas onder lage druk het belangrijkste onderdeel was. Om onverklaarbare redenen lekte het apparaat aan alle kanten en tot overmaat van ramp ontstond kortsluiting waardoor verschillende zekeringen doorsloegen. Reden genoeg om er die dag maar vroeg mee op te houden in de hoop dat het de volgende ochtend weer beter zou gaan, met als bijkomend voordeel, dat Franck nu eindelijk tijd had een brief te schrijven die al veel eerder had moeten worden verzonden. De geadresseerde was Herr Dr. W. Pauli in Zürich, Zwitserland en Franck begon zijn brief met te vertellen hoe het hem die dag had tegengezeten maar dat hij daardoor nu wel tijd had voor deze brief.

Het antwoord liet heel lang op zich wachten en toen het kwam zat er een Deense postzegel op de envelop en het briefpapier was van het Institut For Teoretisk Fysik in Kopenhagen. 'Ik ben bij u in de buurt geweest' schrijft Pauli 'precies op de dag waarop u de brief heeft geschreven.'

Opnieuw was een experimenteel fysicus slachtoffer geworden van het Pauli-effect. Het is een verschijnsel in de moderne natuurkunde dat tussen 1925 en 1958 vele malen is waargenomen en waarover talloze anekdotes de ronde doen. De mooiste is misschien deze.

Pauli komt op bezoek in een fysisch laboratorium. In één van de kamers die aan een lange gang liggen, wordt onderzoek gedaan waarbij een tank vacuüm wordt gezogen. De pomp die hiervoor wordt gebruikt, maakt nogal wat lawaai en blijft gedurende de gehele meetsessie in werking. Besloten wordt Pauli te pakken te nemen. Aan de deurpost worden een lichtgevoelige cel en een lichtbron bevestigd zodanig dat het licht op de fotocel valt en het geheel is verbonden met de voeding

van de vacuümpomp. De schakeling is zo gemaakt, dat de pomp wordt uitgeschakeld en de lampen uitgaan op het moment dat de lichtstraal even wordt onderbroken. Eén van de samenzweerders staat op de gang om te voorkomen dat iemand anders naar binnen stapt en hij ziet Pauli van kamer tot kamer gaan en steeds dichterbij komen. De spanning stijgt; hoe zal Pauli reageren op deze grap? Dan is het zover. Pauli stapt naar binnen en tot ieders verbijstering gebeurt er niets bijzonders, alle lampen blijven branden en de pomp blijft pompen.

Opnieuw het Pauli-effect!

Pauli was één van de vele jonge fysici die kortere of langere tijd in Kopenhagen werkten. Het Institut For Teoretisk Fysik aan de Blegdamsvej 15 was in die tijd het Mekka van de theoretische natuurkunde. Niels Bohr was directeur en hij had een wereldnaam, niet alleen vanwege zijn eigen publikaties maar vooral ook door zijn uitstraling en stimulans. Waarschijnlijk heeft geen natuurkundige in de twintigste eeuw, misschien met uitzondering van Einstein, zo'n grote invloed gehad op de ontwikkeling van het fysisch denken.

Veel bezoekers van het instituut waren gevlucht voor de dictators in hun eigen land die met bruut geweld hun racistische waandenkbeelden in de praktijk brachten. Hitler, Stalin en Mussolini hebben bereikt dat talloze intellectuelen hun vaderland verlieten.

Uit Rome kwam Enrico Fermi, zowel theoretisch als experimenteel geniaal. Buiten de natuurkunde had hij weinig interesses, zijn leven was natuurkunde. Lev Landau en George Gamov kwamen uit de Sovjet Unie. Landau is later naar zijn land teruggegaan en werd daar een vooraanstaand natuurkundige, maar Gamov liet zich tot Amerikaans staatsburger naturaliseren. Gamov sprak in het Westen in een mengsel van allerlei talen dat het Gamovian werd genoemd, maar door zijn voordrachtskunst en door alle tekeningen die hij maakte, kon hij er zich uitstekend mee redden. En dan had je de Tsjech George Placzek die alleen 's nachts kon werken en die tien talen vloeiend sprak. Hij werd hoogleraar in Jeruzalem maar kwam na een jaar al terug omdat hij het Hebreeuws ongeschikt vond om de begrippen van de moderne natuurkunde mee uit te leggen. De Duitser Hans Kopfermann was er met zijn knappe

echtgenote die, hoe kan het anders, door al die kerels Kopferfrau werd genoemd. En George Hevesy uit Hongarije die meer dan honderdduizend Deense kronen inzamelde om Niels Bohr op zijn vijftigste verjaardag een half gram radium cadeau te kunnen geven. Zijn landgenoot Edward Teller was er ook. Een briljant fysicus die later geobsedeerd raakte door vernietigingswapens en die Amerikaanse presidenten adviseerde steeds meer geld in de bewapeningswedloop te stoppen. En Otto Frisch die elk jaar met kerstmis naar zijn tante ging, de beroemde Lise Meitner. Ze waren allebei uit Duitsland gevlucht en vierden in 1938 het kerstfeest bij vrienden in Zweden. Tijdens een lange wandeling in de sneeuw spraken ze over een brief die Lise 's ochtends van haar vroegere collega's had ontvangen. Ze hielden haar op de hoogte van hun onderzoek en schreven over de raadselachtige resultaten waar ze geen touw aan vast konden knopen. En opeens zag Otto Frisch het voor zich; bij dat experiment waren atoomkernen in twee stukken gespleten. In dat Duitse laboratorium was, zonder dat de onderzoekers het zich realiseerden, de kernsplijting ontdekt.

Het is opmerkelijk dat veel van deze talenten nog geen dertig jaar oud waren; grote ontdekkingen in de theoretische natuurkunde worden vaak door jonge mensen gedaan. Misschien moet je wel de verwondering van de jeugd hebben om met de wilde ideeën te durven komen die de natuur blijken te beschrijven. De discussies met Bohr, de werkbesprekingen en de concentratie die noodzakelijk is voor onderzoek in de theoretische natuurkunde, ontlaadden zich vaak in studentikoos gedrag. Als ontspanning gingen ze naar de bioscoop, bij voorkeur naar een pulpfilm waar je zonder bij na te denken naar kunt kijken. Soms konden ze Bohr overhalen mee te gaan, maar het was niet aan hem besteed. Na afloop moest de plot altijd worden uitgelegd. 'Toch', was dan zijn reactie, 'vind ik het geen goede film. Kijk, dat die schooier er met dat mooie meisje vandoor gaat is logisch. Dat gebeurt altijd. Dat die brug instort net als ze erover heen rijden is onwaarschijnlijk, maar ik ben bereid het te geloven. Dat het pakje heroïne in het ravijn valt en dan precies op het puntje van die rots terechtkomt, is hoogst onwaarschijnlijk. Maar ook dit wil ik geloven. Dat die andere boef daar dan net verscholen zit en de heroïne kan

pakken is nog veel onwaarschijnlijker, maar ik ben bereid zelfs dit te geloven. Maar dat er precies op dat moment ook nog een vent langs komt met een camera om het te filmen, nee dat gaat me te ver.'

In 1932 werd in een Engels laboratorium een opzienbarende ontdekking gedaan. Als je het metaal beryllium in een bundel radioactieve straling zet, schieten ongeladen deeltjes met grote snelheid uit het metaal. Ze kregen de naam neutronen en waren kennelijk door de straling losgeschoten uit de atoomkernen van beryllium. Dit resultaat was om twee redenen belangrijk. Hiermee werd bewezen dat in atoomkernen neutronen zitten en bovendien was een methode gevonden om ze los te maken. Enrico Fermi, toen nog hoogleraar in Rome, kwam op het idee met die neutronen weer andere stoffen te gaan beschieten om op die manier te onderzoeken welke kernen goed neutronen opnemen. Dit onderzoek resulteerde in een groot aantal belangwekkende publikaties in het Italiaanse tijdschrift La Ricerca Scientifica. Fermi had met de uitgever de afspraak gemaakt dat de artikelen van zijn groep met de grootst mogelijke spoed werden gepubliceerd. Dit was niet alleen voor de onderzoekers plezierig, maar ook voor de uitgever die merkte dat veel bibliotheken zich op het tijdschrift abonneerden.

In Kopenhagen was het Placzek's vaste taak de in het Italiaans geschreven artikelen te vertalen. Zoals gebruikelijk is bij experimenteel werk werd op dit onderzoek ingehaakt, niet alleen om te kijken of de resultaten reproduceerbaar waren, maar ook om te trachten een stap verder te komen. Placzek wilde met name weten of de kernen van goudatomen in staat zijn neutronen op te nemen en voor dit onderzoek had hij een flink stuk zuiver goud nodig. Bohr bracht uitkomst. In zijn kluis lagen de gouden medailles van de Duitse Nobelprijswinnaars James Franck en Max von Laue die hun kostbare sieraad aan hem hadden gegeven om te voorkomen dat de Nazi's er beslag op zouden leggen en die nu door Placzek voor kernfysisch onderzoek konden worden gebruikt. Bohr kon zijn eigen medaille niet afstaan omdat hij die had weggegeven voor een goed doel. Toen duidelijk werd dat de Duitsers ook Denemarken zouden bezetten moesten de medailles opnieuw in veiligheid worden gebracht. George Hevesy wist een veilige plek,

hij heeft ze opgelost in een sterk zuur en de fles in het laboratorium tussen andere flessen chemicaliën gezet. Daar hebben de Duitsers niet gezocht en na de oorlog is het goud teruggewonnen en zijn er in Zweden opnieuw medailles van geslagen.

Fermi heeft voor zijn onderzoek met neutronen de Nobelprijs gekregen en hij is waarschijnlijk de enige prijswinnaar die het grote nieuws hoorde nog vóór de Zweedse Academie van Wetenschappen het nieuws officieel had bekend gemaakt. In september 1938 was Fermi in Kopenhagen en Bohr fluisterde hem in dat de Academie van plan was hem de prijs dat jaar te geven, maar dat men zich had gerealiseerd dat hij weinig aan het geld zou hebben, omdat Italianen toen geen buitenlands geld mochten bezitten. Buitenlandse valuta moesten immers in lires worden omgewisseld. De Zweden hadden Bohr gevraagd met Fermi te overleggen. Eén van de mogelijkheden was de prijs niet nú maar pas over een paar jaar te geven, in de hoop dat de fascisten niet al te lang aan de macht zouden blijven. Daar voelde Fermi weinig voor en hij vertrouwde Bohr toe dat hij toch al enige tijd van plan was uit Italië te vertrekken. Mussolini had in juli van dat jaar zijn antisemitische wetten geproclameerd en die bedreigden Fermi's joodse vrouw en daar kwam nog bij dat enkele extreem rechtse dagbladen hem op een schandelijke manier aanvielen. Zijn instituut werd regelmatig door buitenlanders bezocht en het was de fascisten niet ontgaan dat hier vaak joden bij waren. Ze verweten hem in een kranteartikel dat hij zijn instituut in een synagoge had veranderd. Dit was de bekende druppel, Fermi had meer dan genoeg van Italië. Op 6 december stapte hij met zijn echtgenote Laura, hun twee kinderen en het kindermeisje in de trein naar Milaan. De lange reis naar Stockholm was begonnen en alleen zijn twee naaste medewerkers die het gezelschap uitzwaaiden, wisten dat hij een enkele reis had gekocht.

Op 8 april 1940 vielen de Duitsers Denemarken binnen. Die nacht kwam Bohr met de trein uit Oslo waar hij een serie lezingen had gegeven en met Noorse fysici de laatste vorderingen op kernfysisch gebied had besproken. Het was nu wel heel zeker dat het mogelijk moest zijn een atoombom te maken. Althans in theorie. Welke technische problemen daarbij nog

moesten worden overwonnen, was volstrekt niet te overzien en daardoor was het ook onduidelijk hoever de Duitsers met dit onderzoek waren. Bohr hoorde van de invasie toen de slaapwagens op de veerboot werden gereden voor de overtocht van Zweden naar Denemarken. Aangekomen in Kopenhagen haastte hij zich naar huis en zag tot zijn grote opluchting dat zijn gezin niets was overkomen en daarna spoedde hij zich naar het instituut. De afgelopen jaren had hij talloze natuurkundigen helpen ontsnappen uit Duitsland en uit de door de Duitsers bezette gebieden. Zaak was nu alle belastende papieren uit zijn archief te vernietigen. Ook stuurde hij nog een telegram naar Otto Frisch in Birmingham met het advies in Engeland te blijven zolang de Duitsers Denemarken bezet hielden. Hij vervolgde het telegram met de geruststelling dat de familie Bohr het goed maakte en besloot met de zin: 'Tell Cockcroft and Maud Ray Kent.'

Deze boodschap overbrengen aan de fysicus John Cockcroft was een kleine moeite, maar wie was in hemelsnaam Maud Ray Kent? In wetenschappelijke kringen was niemand te vinden met de achternaam Kent, toch moesten deze woorden een betekenis hebben. Zat er dan een boodschap in verstopt en duidde 'ray' op een soort straling zoals x-rays? Of was het een anagram? Misschien 'radyum taken' dat je kunt vormen uit de letters van Maud Ray Kent. Maar waarom 'radyum' in plaats van 'radium'? Bohr sprak goed Engels en zou zo'n elementaire spelfout beslist niet maken.

De Engelsen begonnen zich, vooral door een memorandum van Otto Frisch, ernstig zorgen te maken dat de Duitsers een atoomwapen zouden ontwikkelen. Om eigen onderzoek te stimuleren werd een commissie opgericht met het doel een beleid uit te stippelen voor het Britse kernfysisch onderzoek. De commissie kreeg de codenaam M.A.U.D.-comité, zonder dat iemand wist waar deze letters voor stonden.

Inmiddels werd door de Britten grote druk op Bohr uitgeoefend om te vluchten, het was immers niet denkbeeldig dat de Nazi's hem op transport naar Duitsland zouden stellen. Maar Bohr voelde daar niets voor. Pas in september 1943 werd zijn vlucht onvermijdelijk en de Deense ondergrondse wist hem veilig naar Zweden te brengen. Een maand later vertrok hij naar

Engeland, een reis die hem bijna fataal werd.

Op 6 oktober landde op het vliegveld van Stockholm een Engelse Mosquito-bommenwerper. Om de Zweedse neutraliteit niet in gevaar te brengen was het toestel onbewapend waardoor het lege bommenruim beschikbaar was om de passagier te vervoeren. Bohr kreeg een vliegerspak aan en een parachute en hij kreeg een plekje op het luik van het bommenruim. De afspraak was dat de piloot het luik zou openen als het vliegtuig werd neergeschoten. Ter geruststelling kreeg hij een aantal lichtkogels mee die een eventuele zoekactie zouden vergemakkelijken en om het geheel compleet te maken kreeg hij ook nog een vliegeniershelm met ingebouwde koptelefoon. Om het Duitse afweergeschut te ontwijken moest het toestel boven Zuid-Noorwegen naar grote hoogte klimmen en de piloot gaf Bohr opdracht zijn zuurstofventiel open te draaien. Nu had Bohr een uitzonderlijk gevormd hoofd dat groter was dan bij de gemiddelde man van zijn leeftijd. Zijn schedel was buitengewoon hoog, wat de indruk gaf dat zijn oren te laag zaten. Hoewel de grote maat helm hem goed paste, had toch niemand zich gerealiseerd dat de luidsprekers van de koptelefoon zijn oren niet hadden bereikt en boven de oorschelpen in zijn haar zaten. Hij hoorde de boodschap van de piloot niet en raakte bewusteloos door zuurstofgebrek. Omdat hij niet reageerde op vragen van de bemanning, vreesden de piloten het ergste, maar er zat niets anders op dan door te vliegen. Eenmaal buiten bereik van de Duitsers daalde het toestel naar zijn normale kruishoogte en toen het in Schotland landde, kwam Bohr weer langzaam bij zijn positieven.

Bijna drie jaar had hij geen contact gehad met de fysici in Engeland en de Verenigde Staten en nu bleek hoe snel de ontwikkeling van de kernfysica was geweest. De dreiging van een Duitse atoombom had het natuurkundig onderzoek een geweldige stimulans gegeven waardoor een groot aantal fundamentele ontdekkingen werd gedaan, maar tegelijkertijd was het onderzoek op het spoor van de vernietigingswapens gezet. Bohr had onnoemelijk veel te vragen terwijl zijn gastheren wilden weten hoe het in Denemarken was. 'Zijn er razzia's, wie is er nog op het instituut en wat betekende toch Maud Ray Kent?'
'Maud Ray Kent?'

Bohr moest nadenken. 'Maud Ray? Toen de kinderen nog klein waren heeft Maud enkele jaren bij ons in huis gewoond en de kinderen Engelse les gegeven. Ze woont nu in Kent.'

Veel fysici uit Europa zouden elkaar een jaar later in de Verenigde Staten ontmoeten tijdens hun werk voor het Manhattan project waarbij meer dan 14000 wis- en natuurkundigen, scheikundigen en ingenieurs de bommen ontwikkelden die op Hiroshima en Nagasaki zouden worden gegooid. Hun wetenschappelijke ontdekkingen zijn jarenlang militair geheim gebleven, maar toen ze openbaar mochten worden, kon deze kennis eindelijk worden gebruikt voor het enige doel waarvoor ze gebruikt mag worden: fundamenteel onderzoek en vreedzame toepassingen.

Het is een beschamende gedachte dat de gedetailleerde kennis die we nu van het heelal hebben voor een groot deel te danken is aan militair onderzoek en helaas zullen ook veel toekomstige ontdekkingen direct of indirect een gevolg zijn van onderzoek dat wordt verricht om nieuwe wapens te ontwikkelen. Dit is een onvermijdelijke conclusie als we ons realiseren dat in 1989 twintig procent van de natuurwetenschappers op de wereld, ervoor heeft gekozen om voor de wapenindustrie te werken. Deze heilloze weg kan wellicht worden doorbroken door op scholen en universiteiten aandacht te besteden aan de ethische aspecten van het natuurwetenschappelijk onderzoek, waardoor de nieuwe generatie onderzoekers zich ervan bewust is dat hun vak een zaak is van oorlog en vrede.

2 DE ASTROFYSICUS

Het is nu al weer enkele jaren geleden dat ik me aan de nieuwe buren voorstelde en vertelde dat ik astronoom was. 'Goh wat leuk', was de reactie, 'ik ben ook erg in astrologie geïnteresseerd.'

Wat een moeilijk begin van een vriendschap om meteen te moeten vertellen dat je absoluut geen interesse hebt in die flauwekul en wat moeilijk om uit te leggen wat je dan wel bent. Had ik maar kunnen zeggen dat ik fysicus was, want dan was het vast wel duidelijk geweest. Natuurkundigen werken immers in laboratoria en door hun onderzoek kunnen we tegenwoordig afstandsbediening voor de TV kopen en digitale koortsthermometers en magnetronovens en al die andere 'genoegens' van onze tijd. Het is weinig bekend dat een astronoom gewoon een natuurkundige is. Het verschil zit 'm in de objecten die worden bestudeerd. Natuurkundigen proberen de natuur te begrijpen door in het laboratorium onderzoek te doen, dat onderzoek kan theoretisch zijn of experimenteel. Een experimentator bouwt een apparaat waarmee hij de eigenschappen van een stof onder allerlei verschillende omstandigheden kan onderzoeken terwijl de theoreticus met wiskundige hulpmiddelen aan het werk gaat. In een aards laboratorium zijn de mogelijkheden vaak nogal beperkt. Stel je voor dat je het licht wilt onderzoeken dat een gas uitzendt en dat je wilt weten wat er gebeurt als de temperatuur van het gas steeds hoger wordt. Het is duidelijk dat er een grens zit aan de temperatuur die je kunt realiseren. Tegen de tijd dat het gas een temperatuur heeft van enkele tienduizenden graden, wordt het onbehaaglijk warm in het laboratorium en als de temperatuur tot honderd miljoen graden stijgt dan is de kans groot dat niemand kan navertellen dat het echt is gebeurd. Toch bestaan er wel lampen die zo heet zijn. Je vindt ze niet in aardse laboratoria maar ze staan 's nachts aan de hemel. Door het licht van de sterren te bestuderen zijn de onderzoeksmogelijkheden gewel-

dig uitgebreid en het laboratorium waarin we werken heeft afmetingen als nooit tevoren, het is het hele heelal. En de natuurkundige die in dit laboratorium werkt noemt zichzelf een astrofysicus. Maar zouden mijn buren het dan hebben begrepen?

De belangrijkste astrofysicus in de eerste helft van deze eeuw was Sir A.S. Eddington. Misschien is het zelfs juister om te zeggen dat Eddington de eerste echte astrofysicus was. In de achttiende en negentiende eeuw bestudeerden de sterrenkundigen vooral de bewegingen van de hemellichamen, ze deden nauwelijks onderzoek naar de natuurkundige processen die op de sterren een rol spelen. Dat konden ze ook niet want er was nog maar weinig bekend over atomen en moleculen en de atoomkern was zelfs nog niet ontdekt.

Toen hij in 1882 werd geboren was zijn vader onderwijzer in Kendall, in het Engelse Lake District. Zijn ouders waren Quakers. Deze godsdienstige beweging ontstond in het zeventiende-eeuwse Engeland toen de stichter George Fox een profetische verschijning kreeg. De naam is afgeleid van het Engelse 'to quake' dat 'sidderen' of 'beven' betekent en het was oorspronkelijk een bijnaam, zelf noemen ze zich liever 'Society of Friends'. De Quakers organiseerden zich in 1669 en zijn sindsdien vaak meedogenloos vervolgd. Hun erediensten zijn buitengewoon sober en er wordt slechts gesproken als één van de aanwezigen zich geroepen voelt het woord te voeren. De Quakers hebben uitgesproken maatschappelijke opvattingen, ze onthouden zich van politiek en zijn tegen de militaire dienst. In de Verenigde Staten heeft de kerk zich sterk gemaakt voor de afschaffing van de slavernij en na de eerste en Tweede Wereldoorlog hebben ontelbare slachtoffers van beide partijen hulp gekregen van de Quakers. Voor dit laatste kreeg de kerk in 1948 de Nobelprijs voor de vrede. Eddington is zijn hele leven een overtuigd Quaker gebleven en zijn houding en levensstijl zijn beter te begrijpen als we dit in gedachte houden.

Als kind was Eddington al gefascineerd door getallen en nog voor hij kon lezen, had hij het aantal letters in het boek Genesis geteld. Ook later heeft hij deze belangstelling voor getallen gehouden, zówel in zijn privé leven als in zijn wetenschappelijk werk. In een klein zakboekje heeft hij bijna 50 jaar

lang bijgehouden welke afstanden hij op de fiets aflegde. Zijn prestaties drukte hij uit in een getal *n*, dat hij had gedefinieerd als het aantal dagen dat hij meer dan *n* mijlen had gefietst. In 1942, een jaar voor zijn dood, was zijn *n* gelijk aan 77. Dat is een respectabel getal als je bedenkt hoever hij op zijn zware, degelijke fiets zonder versnelling heeft moeten trappen om zijn *n* van 76 op 77 te brengen. Dat waren 77 tochten van minstens 77 mijl, bij elkaar opgeteld een afstand van ruim 9400 kilometer. De routes van al die tochten kleurde hij met zwarte inkt op de grote Bartholomew wegenkaart van Engeland, maar er waren weinig mensen die hier van wisten. Eddington was een introvert mens, een individualist bovendien, die altijd in zijn eentje fietste. In zijn stemmige kleding en met zijn lorgnet was Eddington de klassieke aristocraat uit de twintiger jaren. Deze types zie je nog wel eens in films die in die tijd spelen. De zaterdag kende een andere Eddington. In wat wij tegenwoordig zo mooi vrijetijdskleding noemen, zat hij op de tribune van Arsenal, hij was een fanatiek supporter van deze voetbalclub.

Eddington was beroemd om zijn snelheid van denken. Er wordt van hem verteld dat hij in wetenschappelijke discussies nogal eens een spreker onderbrak om te vertellen wat die van plan was te gaan zeggen, waarna hij dan ook nog de oplossing van het probleem gaf. Hierdoor en ook door zijn kleding en houding maakte hij een zeer afstandelijke indruk, alsof hij met zijn gedachten in hogere regionen verkeerde. In het roddelcircuit van zijn medewerkers werd dan ook beweerd dat hij een rechtstreekse telefoonlijn had met God. Er waren maar weinig mensen die echt contact met hem hadden. Toen zijn naam bekend werd in de wetenschappelijke wereld, reisde Hertzsprung, de directeur van de Leidse sterrenwacht, naar Cambridge om kennis te maken. Bij terugkomst waren de collega's heel benieuwd te horen wat voor persoon deze beroemde astrofysicus eigenlijk was. Hertzsprung heeft toen gezegd: 'Eddington kan ja zeggen, Eddington kan nee zeggen en dat is alles wat ik jullie over Eddington kan vertellen.'

Hij was een stille verlegen man die weinig behoefte had aan gezelschap en hij is altijd vrijgezel gebleven, verzorgd door zijn zus Winifred.

De relativiteitstheorie van Einstein is een belangrijk onderzoeksgebied voor Eddington geweest. Deze theorie bestaat uit twee delen: de speciale relativiteitstheorie die in 1905 werd gepubliceerd en de algemene uit 1916. In de speciale relativiteitstheorie heeft Einstein onder meer de beroemde formule $E = mc^2$ bewezen waarmee hij aantoonde dat kernenergie in principe mogelijk is. Met de algemene relativiteitstheorie heeft Einstein geprobeerd de bouw van het heelal te beschrijven.

De ruimte tussen de sterren is nagenoeg leeg. Laten we eens een gebied in gedachten nemen waar zich geen enkel deeltje bevindt, een stukje lege ruimte dus. Wij hebben de neiging om te zeggen dat daar niets is, maar dat blijkt volgens de algemene relativiteitstheorie toch niet juist te zijn. Een lege ruimte is iets heel anders dan niets en dat komt omdat lege ruimte structuur heeft. Deze theorie is zo abstract dat je heel gecompliceerde wiskundige formules nodig hebt om hem te beschrijven. Wil je je er iets bij voorstellen, dan moet je naar een analogie zoeken. Laten we eens kijken naar kinderen die op het strand spelen. Als het zand volkomen vlak is, gaat een bal die ze naar elkaar toe rollen langs een rechte lijn van de één naar de ander. Waarom een rechte lijn? Het antwoord is eenvoudig: omdat een rechte lijn de kortste afstand is tussen de twee kinderen. De bal kiest dus de route die de minste tijd kost. Wanneer het zand niet vlak is, rolt de bal langs een ingewikkelde baan met allerlei bochten, maar ook nu kiest hij de snelste reisweg. In het heelal reizen geen ballen van de ene ster naar de ander, maar wel fotonen en ook deze lichtdeeltjes nemen altijd de kortste weg. Volgens Einstein is de ruimte niet vlak maar er zitten welvingen in en de fotonen volgen deze structuur van de ruimte. De sterkste welvingen vind je in de buurt van massaconcentraties en dat betekent dat in de buurt van sterren het licht wordt afgebogen. Tenminste als Einstein gelijk heeft. Daarom is lege ruimte niet niks, in de buurt van een ster is hij veel meer gewelfd dan ver van de sterren. Onze ogen kunnen de vorm van de ruimte niet zien, maar fotonen zijn er wel gevoelig voor. Als ze op ons af komen, worden ze gedwongen de structuur van de ruimte te volgen. Helaas is dit niet zo gemakkelijk te zien. Het probleem is dat we in de richting van de lichtstraal kijken als we een ster aan de hemel

zien. Eigenlijk zouden we van opzij tegen die gebogen baan aan moeten kijken om te kunnen zien dat de fotonen de vorm van de ruimte volgen.

Einstein kwam op het idee dat je het effect wel zou kunnen waarnemen tijdens een zonsverduistering. Hij publiceerde zijn ideeën tijdens de Eerste Wereldoorlog toen Engeland en Duitsland een afschuwelijke strijd voerden. Vooral in de tweede helft van de oorlog namen de anti-Duitse gevoelens in Engeland enorm toe. De Engelse universiteitsbibliotheken moesten hun abonnementen op Duitse tijdschriften opzeggen en Engelse en Duitse geleerden konden niet meer corresponderen. Dit betekende nogal wat, want Duitsland nam in die tijd een toppositie in bij het natuurkundig onderzoek. Tijdens deze oorlog bleef Nederland neutraal zodat via dit tussenstation toch op bescheiden schaal contacten mogelijk bleven. De Sitter, die hoogleraar was in Leiden, zond een kopie van Einstein's artikel aan zijn vriend Eddington en die zag ogenblikkelijk het fundamentele belang ervan in. Dit bracht hem ertoe zijn *Report on the relativity theory of gravitation* te schrijven waardoor de theorie toch buiten Duitsland bekend raakte. Dit was vooral ook belangrijk omdat Einstein zijn publikaties in het Duits schreef, een taal die veel Amerikanen niet kunnen lezen.

Einstein heeft over zijn relativiteitstheorie nooit een leerboek geschreven, hij beperkte zich tot zijn wetenschappelijke artikelen. Wilde je op de hoogte blijven, dan moest je die dus lezen. Het is duidelijk dat een beknopt artikel waarin verwezen wordt naar allerlei andere publikaties veel moeilijker te lezen is dan een leerboek waarin een theorie van het begin af wordt opgebouwd. Eddington realiseerde zich dit en omdat hij één van de weinige natuurkundigen was die de algemene relativiteitstheorie volledig begreep, kon hij dat boek schrijven. Uit dit boek hebben vele generaties Engelstalige studenten de relativiteitstheorie geleerd.

Einstein had dus voorspeld dat je de welving van de ruimte kunt aantonen tijdens een zonsverduistering. De clou is namelijk dat je tijdens een zonsverduistering sterren kunt zien vlak naast de verduisterde zon. Een zonsverduistering ontstaat als wij de maan voor de zon zien schuiven en gedurende die

paar minuten is het donker en worden sterren zichtbaar. Door de grote massa van de zon is de ruimte in die omgeving sterk gewelfd en het licht wordt gedwongen de vorm van de ruimte te volgen waardoor het sterrenlicht uit een iets andere richting lijkt te komen. Dit betekent dat de positie van sterren aan de hemel verandert als hun licht vlak langs de zon scheert. Helaas komen totale zonsverduisteringen niet zo vaak voor, gemiddeld slechts één keer per anderhalf jaar. Daar komt nog bij dat een zonsverduistering alleen kan worden waargenomen in een smalle strook die niet breder is dan zo'n 20 kilometer. Omdat meer dan 70% van het aardoppervlak uit water bestaat, zijn de meeste verduisteringen alleen op zee te zien. Voor de astrofysicus zijn die niet interessant want vanaf een deinend schip kun je geen goede waarnemingen doen. Een totale zonsverduistering die zichtbaar is in een land waar de hemel vaak onbewolkt is, is dan ook een zeldzame gebeurtenis.

Het is precies bekend welke verduisteringen we tot in de tweeëntwintigste eeuw kunnen verwachten. Omstreeks 1880 is dit uitgerekend door Oppolzer, een sterrenkundige in Wenen. Hij heeft een atlas gemaakt waarin de stroken van de totale zonsverduistering zijn getekend en hierin zag Eddington dat op 29 mei 1919 de zon verduisterd zou worden in een strook die van Brazilië over de Atlantische Oceaan naar de westkust van Afrika liep.

Ook in dit geval lag de strook van waaruit de verduistering zichtbaar was bijna geheel in zee, maar de twee uiteinden lagen op land. In Brazilië en Afrika, zo vlak bij de evenaar, was de kans op goed weer natuurlijk heel groot. En dat was belangrijk, maar er was nog iets.

Astrofysici gebruiken zonsverduisteringen om de buitenste delen van de zon te bestuderen. De allerbuitenste laag van de zon noemen we de corona en die geeft zo weinig licht dat we hem in het felle zonlicht niet kunnen zien, maar tijdens een totale zonsverduistering wordt de corona enkele minuten zichtbaar als een prachtige gloed in pasteltinten. En dan zie je ook sterren. In dit geval ging het niet om de corona maar om de sterren die door de corona heen zichtbaar zijn. Bij verreweg de meeste zonsverduisteringen kun je het effect van Einstein niet aantonen omdat er niet genoeg sterren vlak bij de verduisterde zon staan. Maar deze verduistering zou heel geschikt zijn omdat de zon op 29 mei tussen de sterren van een sterrenhoop aan de hemel staat. Dit gebeurt weliswaar elk jaar opnieuw maar in 1919 zou je dat door de verduistering ook kunnen zien. Het is heel toevallig dat de eerste gelegenheid die zich voordeed om te onderzoeken of de ruimte rond de zon gewelfd is, ook de meest geschikte gelegenheid was. Maar tijdens de Eerste Wereldoorlog hoefde je bij de Engelse regering niet aan te kloppen met het verzoek een expeditie naar een zonsverduistering te financieren om een theorie van een Duits fysicus te verifiëren. Het probleem van de gewelfde ruimte was beslist minder urgent dan de problemen waar de Engelsen op het vaste land mee worstelden en bovendien hadden twee medewerkers van Eddington zich voor de militaire dienst gemeld, waardoor ze toch ook niet aan het onderzoek zouden kunnen meewerken.

Eddington zelf wilde onder geen voorwaarde in dienst. Hij was een man met hoge ethische normen en hij meende dat het onder geen enkele omstandigheid is toegestaan een ander te doden. Tussen 1914 en 1916 had dit geen consequenties omdat Engeland een vrijwilligersleger had, maar dit veranderde in de tweede helft van de oorlog toen de dienstplicht werd ingevoerd voor alle ongehuwde mannen tussen 18 en 41 jaar. Bezwaar kon worden aangetekend bij een tribunaal dat in tal van plaatsen zitting hield. Eddington stond erop te worden erkend als gewetensbezwaarde, maar collega's van de University of Cambridge meenden dat de goede naam van hun universiteit in het geding was als één van de medewerkers voor het tribunaal zou verschijnen. Tegenwoordig kun je er, zeker in ons land, met ere voor uit komen dat je tegen de militaire dienst bent en het ministerie van defensie is redelijk welwillend een verzoek voor vervangende dienst te honoreren. Tijdens de Eerste Wereldoorlog kon je in Engeland weinig begrip verwachten voor dit standpunt. Het land was letterlijk volgeplakt met aanplakbiljetten 'Join Your Country's Army!' en van iedere man werd verwacht dat hij in dienst zou gaan. Drie miljoen vrijwilligers hadden zich reeds aangemeld. De Duitsers werden zo verafschuwd dat de koninklijke familie zelfs een andere naam koos. Koning George V stamde af van koningin Victoria en prins Albert van Saksen - Coburg en Gotha. Op 17 juli 1917

maakte hij bekend dat hij afstand deed van al die Duitse titels en dat de koninklijke familie voortaan de achternaam Windsor zou hebben. In deze atmosfeer van anti-Duitse gevoelens wilde Eddington worden erkend als gewetensbezwaarde. In die jaren werd dit opgevat als een vorm van landverraad en dat was de reden dat de hoogleraren Newall en Larmor bij het ministerie van binnenlandse zaken bepleitten dat Eddington niet zou worden opgeroepen vanwege zijn onmisbaarheid voor de wetenschap. Ze wezen op de geniale fysicus Henry Moseley die zich meteen in het begin van de oorlog voor het leger had gemeld en die in 1915 was gesneuveld. Hun actie had succes, Eddington werd niet opgeroepen.

In 1918, toen de oorlogsmachine op volle toeren draaide en de Engelse militairen met duizenden tegelijk werden afgemaakt, had het leger dringend nieuwe manschappen nodig. Het land werd uitgekamd om dienstplichtigen te vinden en het ministerie ging in beroep tegen de onmisbaarheidsverklaring van Eddington. De universiteit kon nu niet meer voorkomen dat hij voor het tribunaal zijn pacifistische ideeën zou verkondigen. Wel hadden ze een verrassing in petto. Op de zitting was Frank Dyson, directeur van de sterrenwacht in Greenwich, aanwezig en hij vergeleek Eddington met Darwin. 'Deze geleerden zorgen voor de hoge standaard van de Britse wetenschap in een tijd waarin dat noodzakelijk is, zeker wanneer je rekening houdt met het veel voorkomende misverstand dat het belangrijkste wetenschappelijk werk in Duitsland wordt verricht.' Vervolgens benadrukte hij dat Eddington de meest geschikte persoon was om de expeditie naar de zonsverduistering te leiden. Maar Eddington wilde niet op grond van deze argumenten zijn dienstplicht ontlopen, hij stond erop te worden erkend als gewetensbezwaarde. In dat geval wilde hij wel bij het Rode Kruis gaan werken of als ongeschoold arbeider helpen bij het binnenhalen van de oogst. De leden van het tribunaal vonden een compromis. Ze erkenden zijn gewetensbezwaren, maar constateerden tevens dat zo'n begaafd onderzoeker beter wetenschappelijk werk kon blijven doen. Zij gaven hem twaalf maanden uitstel en toen die periode was verstreken, was ook de oorlog beëindigd.

Inmiddels was de datum van de zonsverduistering naderbij

gekomen. Om toch deze unieke gelegenheid te kunnen benutten moesten de Engelsen alles op alles zetten. In november 1918 begonnen de instrumentmakers met hun werk en in minder dan drie maanden ontwierpen en bouwden ze twee telescopen met bijbehorende fotografische apparatuur. Omdat één wolkje voor de zon het werk van maanden zou bederven, werd besloten twee expedities uit te zenden. De ene expeditie ging naar de stad Sobral in Brazilië en de ander naar het eiland Principe voor de Afrikaanse kust. Principe ligt in de golf van Guinee ongeveer 200 kilometer boven de evenaar en dit eiland was het reisdoel van Eddington. Het is een klein eiland, niet groter dan 8 bij 16 kilometer en het was toen nog een Portugese kolonie.

De avond voor het vertrek controleerden Eddington en Cottingham, die hem zou vergezellen, nogmaals Einstein's berekeningen. Ze zaten in de werkkamer van Frank Dyson. 'Wat zijn de consequenties als Einstein geen gelijk blijkt te hebben?'
Deze vraag stelde Cottingham als terloops zonder zich tot één van de anderen te richten.
Dyson antwoordde: 'Dan raakt Eddington buiten zijn zinnen en zul je alleen naar huis moeten komen.'
Eddington reageerde hier niet op, dat zou hij pas drie maanden later doen toen de verduistering achter de rug was.

De dag van de verduistering, 29 mei 1919. Het is heet en vochtig. Ondraaglijk vochtig. Twee mannen hebben een maand lang geoefend wat ze de komende vijf minuten moeten doen. Op een tafel ligt een bijna vier meter lange telescoop. Voor de lens van de kijker is een draaibare spiegel opgesteld die er voor zorgt dat het licht van de zon op de lens valt. Aan het andere einde van de telescoop zit het fototoestel. Ze hebben zestien plaathouders die ze straks in snelle opeenvolging moeten belichten. Alles hebben ze vele keren geoefend, behalve het nemen van de foto's. Ze hebben dus ook niet kunnen proberen hoe lang ze moeten belichten om de zwakke sterren bij de rand van de zon op de foto te krijgen. Daarom hebben ze een gok moeten maken voor de belichtingstijd, tussen twee seconden en twintig seconden. Zo gaat dat nu eenmaal bij verduisteringen. Het tijdstip van de verduistering nadert. Duidelijk is nu te

zien dat de maan een hap uit de zon heeft genomen. In dit altijd onbewolkte land is de hemel praktisch dichtgetrokken met een ijle bewolking waar de zon nog net doorheen komt. En dan opeens is het donker. Een totale zonsverduistering. Maar bewolkt of niet, de twee mannen werken uiterst geconcentreerd hun programma af. Zestien foto's die bijna allemaal mislukken. Op de beste foto zijn vijf sterren te zien naast de verduisterde zon en deze foto is bruikbaar. Met een loep meet Eddington de posities van de sterren op de zojuist ontwikkelde plaat. Het is doodstil, Eddington zegt niets terwijl hij zit te meten.
Dan legt hij de plaat weg en mompelt: 'Cottingham, je hoeft niet alleen naar huis.'
Jaren later heeft Eddington het moment waarop hij deze foto bekeek, het mooiste ogenblik uit zijn leven genoemd.

Gelukkig had de expeditie naar Brazilië meer geluk. Zij hadden geen last van wolken en hun foto's waren zeer scherp. De sterren die tijdens de verduistering zichtbaar werden vlak naast de zon, waren iets verplaatst doordat hun licht de welvingen van de ruimte had gevolgd.

In de jaren tussen 1916 en 1926 heeft Eddington met zijn onderzoek van het inwendige van sterren de basis gelegd voor de moderne astrofysica.

Van een ster die je aan de hemel ziet staan kun je de massa bepalen en de temperatuur. Dit is de temperatuur van de allerbuitenste laag die niet dikker is dan 400 km. Deze temperatuur varieert van tweeduizend graden bij koele sterren tot dertigduizend graden bij de heetste sterren. Een laag van 400 km dikte is bijzonder dun als je bedenkt dat de meeste sterren diameters hebben van miljoenen kilometers. Tot 1916 leek het niet mogelijk om de temperatuur in de diepere lagen van sterren te berekenen. Eddington realiseerde zich dat de buitenste lagen van een ster een druk uitoefenen op de diepere lagen, waardoor de ster zichzelf probeert samen te persen. Hierdoor moet de druk in het centrum van de ster een geweldig hoge waarde hebben. Dat de ster niet instort, komt doordat deze druk wordt gecompenseerd door een tegendruk. Deze tegendruk kan alleen maar de gasdruk zijn, die in het centrale deel van de ster dus even groot is als de druk van de boven liggende lagen. Maar

een hoge gasdruk betekent een hoge temperatuur. Die hoge temperatuur zorgt ervoor dat warmte naar het oppervlak van de ster stroomt en deze warmtestroom bepaalt de temperatuur aan de buitenkant. Hiermee zijn we gekomen bij de centrale vraag in Eddington's onderzoek die we als volgt kunnen formuleren: welk verband bestaat er tussen de massa en straal van een ster enerzijds en de temperaturen aan de buitenkant en in het centrum anderzijds?

Eddington heeft onderzocht hoe de warmte van binnen naar buiten stroomt en hij kon aantonen dat in het inwendige van sterren de temperatuur vele miljoenen graden moet zijn. Het merkwaardige was dat hij die temperatuur kon berekenen zonder dat hij wist hoe die hoge temperatuur ontstond. Hij had wel vermoedens. Eddington heeft als eerste benadrukt dat 'sub-atomic energy' een rol moest spelen, tegenwoordig noemen we dit kernenergie.

Op 24 augustus 1920 hield hij tijdens een conferentie in Cardiff een voordracht waarin hij onder meer het volgende zei: 'We kunnen daarmee eenvoudig de hoeveelheid energie berekenen die vrijkomt als helium ontstaat uit waterstof. Als aanvankelijk 5% van de massa van een ster uit waterstofatomen bestaat die geleidelijk worden samengevoegd tot meer complexe elementen, dan is de totale hoeveelheid energie die vrijkomt meer dan genoeg voor ons doel en we hoeven niet verder te zoeken naar de energiebron van de ster.'
Dit moet zijn gehoor als science fiction in de oren hebben geklonken. Veel fysici in die tijd begrepen de relativiteitstheorie, die dit voorspelde, helemaal niet en ze verzetten zich tegen de revolutionaire ideeën van Einstein. En nu beweerde Eddington dat sterren helium maken uit waterstof. Het ene element wordt omgezet in het andere; is de alchemie van de middeleeuwen dan toch een realiteit? Het sterkste argument tegen kernfusie was dat er zeer hoge temperaturen voor nodig zijn, temperaturen die onmogelijk leken. Maar dit argument verviel nu Eddington had bewezen dat in het inwendige van sterren de temperatuur een waarde heeft van tien tot twintig miljoen graden. De natuurkunde wankelde.

En dan besluit hij zijn voordracht met de toekomstvisie dat we kernenergie ten goede of ten kwade kunnen gebruiken. 'Als het werkelijk zo is dat de 'sub-atomic energy' door sterren

wordt gebruikt om hun kachels brandend te houden dan lijkt het of onze droom in vervulling gaat om deze energiebron te gaan gebruiken voor het welzijn van het menselijk ras – of voor zijn zelfmoord.'

3 EEN GEKLEURDE JONGEN UIT DE KOLONIE

Harvard College Observatory, Massachusetts, USA in 1910.

Een heel bijzondere sterrenwacht met een unieke verzameling van meer dan vijfhonderdduizend foto's van sterrenspectra. Ze zijn gemaakt met een instrument dat door Edward Pickering is uitgevonden. Hij is nu directeur en heeft vijftien vrouwelijke medewerkers die onder zijn leiding dit materiaal onderzoeken. Ze worden de harem van Pickering genoemd. Geen van allen hebben ze gestudeerd, maar toch werken ze tot zijn volle tevredenheid. In het jaarverslag schrijft hij: '...ze zijn zeker zo goed in staat routinewerkzaamheden te verrichten als een astronoom wiens salaris veel hoger is. Derhalve kunnen drie tot vier maal zoveel medewerkers worden aangesteld en de hoeveelheid werk die voor een gegeven bedrag wordt gedaan is overeenkomstig groter.'

Pickering heeft zojuist Henry Norris Russell in zijn kamer ontvangen. Deze astronoom werkt op de Princeton University aan een onderzoek om afstanden van sterren te bepalen en nu is hij op bezoek bij de man die de spectra van sterren bestudeert. Zijn er geen mogelijkheden om samen te werken?
'Je zou eens het spectrum moeten fotograferen van een zwak sterretje waarvan we de afstand kennen.'
'Noem er eens één.'
'Bijvoorbeeld de zwakke begeleider van Omigron Eridani.'
'Wij zijn gespecialiseerd in het beantwoorden van dergelijke verzoeken.'
Pickering pakt de telefoon en belt Wiliamina Fleming. Een half uur later komt ze binnen met het spectrum, dat ze in de verzameling van de sterrenwacht heeft opgezocht.
'Hier is het spectrum waar u naar vroeg. Het is een A-ster.'
Deze laatste opmerking slaat in als een bom. Een A-ster heeft een hoge temperatuur en elke vierkante meter van zijn oppervlak straalt dus heel veel licht uit. Deze A-ster staat vlak bij de aarde en je zou verwachten dat hij 's nachts fonkelend aan de

hemel staat. Maar Omigron Eridani is een uiterst zwak sterretje en dat kan alleen maar betekenen dat hij veel kleiner is dan andere sterren. Omigron Eridani is een witte dwerg en op dat moment zijn er slechts drie mensen op de wereld die weten dat witte dwergen bestaan. Die drie staan in de kamer van Edward Pickering.

Lahore, Brits Indië in 1910, tegenwoordig Pakistan. Op 19 oktober wordt Subramanyan Chandrasekhar er geboren. Zijn oom is de bekende natuurkundige Raman, die in 1930 de Nobelprijs zal krijgen. Als hij acht jaar is, verhuist het gezin naar Madras in het tegenwoordige India. Een stad met een universiteit en daar gaat Chandrasekhar studeren. Een briljante student. De universiteit nodigt medewerkers uit een artikel te schrijven over de pas ontdekte quantummechanica. De eerste prijs is een boek naar eigen keuze. Chandrasekhar wint en maakt zijn keuze: *The Internal Constitution of the Stars* van de Engelse astrofysicus Eddington. Een keus die zijn levensloop zal bepalen.

Chandrasekhar, geboren in het jaar waarin de witte dwergen werden ontdekt, zal door zijn theorie over de witte dwergen in conflict komen met Eddington. Een wetenschappelijk duel waarin hij geen schijn van kans maakt.

Al heel lang zijn de astrofysici geïnteresseerd in witte dwergen. Deze sterren zijn even klein als de aarde en ze stralen een witachtig licht uit, vandaar hun naam. De massa van een witte dwerg is vergelijkbaar met die van de zon en al dat materiaal zit in een klein volume geperst. De dichtheid van dit soort sterren is daardoor meer dan zestigduizend maal zo groot als de dichtheid van water en dat maakt de witte dwergen zo interessant.

Omstreeks 1920 had Eddington een studie gemaakt van de toestand in het inwendige van de zon. Hij kon bewijzen dat de druk daar de onvoorstelbaar hoge waarde van honderd miljoen atmosfeer heeft. Hoeveel dat is, wordt duidelijk als we bedenken dat de atmosferische druk op aarde ongeveer één atmosfeer is, in een hoge drukgebied is hij iets hoger en in een depressie iets lager. Deze luchtdruk ontstaat doordat alle lucht die boven ons zit op ons drukt. De enorme druk in het centrum van de zon is ook een gevolg van het gewicht van alle bovenliggende lagen. Omdat die lagen zo zwaar zijn, wordt het zonnegas in het centrum sterk samengeperst en dat verklaart de gigantische druk. Honderd miljoen atmosfeer. Alle reden om aan te nemen dat het gas in het centrum van de zon heel andere eigenschappen heeft dan de lucht om ons heen. Je zou je zelfs af kunnen vragen of je de materie daar nog wel een gas kunt noemen, bij een gas stel je je immers iets ijls voor. Lijkt de materie binnenin de zon niet veel meer op een vaste stof dan op een gas?

Eddington heeft bewezen dat de materie binnenin de zon een echt gas is, vergelijkbaar met de lucht in de dampkring van de aarde. Een gas heeft altijd een zekere druk en temperatuur en die twee grootheden hangen nauw met elkaar samen. Als de één groter wordt, dan wordt de ander het ook en bovendien gaat het in dezelfde mate. Deze wetmatigheid is al heel lang bekend en ieder jaar weer zwoegen leerlingen van allerlei scholen met deze gaswet als ze een proefwerk natuurkunde moeten maken. Essentieel is dat de dichtheid van het gas klein moet zijn, anders is die gaswet niet geldig. Het lijkt dus heel absurd dat in het centrum van de zon, met die onvoorstelbaar grote dichtheid, deze wetmatigheid toch geldt. Volgens Eddington wordt de hoge druk in stand gehouden door een temperatuur van meer dan tien miljoen graden en bij die temperatuur botsen de gasdeeltjes zo heftig dat alle atomen hun elektronen zijn kwijtgeraakt. De atoomkernen en de losse elektronen zijn uiterst kleine deeltjes die, doordat ze zo klein zijn, toch veel ruimte hebben om te bewegen. Dus op microscopische schaal is het gas ijl.

In 1926 liet de Engelse natuurkundige Fowler zien waarom Eddington's redenering wel opgaat voor sterren zoals de zon maar niet voor witte dwergen. De materie in dit soort sterren is nog veel meer samengeperst dan in de zon en in het jargon van de astrofysici wordt dit degeneratie genoemd. Een witte dwerg lijkt daardoor meer op een bol vaste stof dan op een gasvormige ster. Hij kon dit bewijzen met de pas ontwikkelde theorie van de quantumstatistiek. Deze theorie leidde tot het volgende scenario voor de evolutie van sterren. Wanneer de

energieproduktie in een ster is afgelopen wordt de temperatuur in het inwendige lager. Daardoor neemt de gasdruk af en de ster perst zichzelf samen. Wat overblijft is een witte dwerg, een geweldig compacte ster die langzaam afkoelt. Volgens deze theorie worden alle sterren aan het eind van hun leven witte dwerg en daarmee leken de problemen van de sterrenevolutie opgelost. Maar niets was minder waar.

Chandrasekhar maakte in 1928 kennis met professor Sommerfeld. Deze hoogleraar uit München gaf in dat jaar een serie colleges aan de universiteit van Madras. Het moet voor beiden een bijzondere ervaring zijn geweest. Sommerfeld was een ouderwetse Duitse hoogleraar die zich terdege bewust was van zijn hoge maatschappelijke status. Niet iemand bij wie je even binnen loopt of waarmee je in de gang een gesprek begint. Een Duitser spreekt een hoogleraar niet aan met 'professor' zoals wij dat doen, maar met 'Herr Professor'. Nu had Sommerfeld de titel 'Geheimrat' gekregen als waardering voor zijn verdiensten voor het vaderland en hij werd dan ook met 'Herr Geheimrat' aangesproken. Op zijn instituut werkten regelmatig buitenlanders en één van hen sprak de professor altijd aan met 'Herr Professor'. Na enige weken werd hem in het oor gefluisterd dat Sommerfeld een 'Geheimrat' was en dat het gewoonte was die eretitel te gebruiken. Als gast pas je je aan de gebruiken van het land aan en dit ontging Sommerfeld niet. Zijn waardering, maar ook zijn gevoel voor humor bleek uit zijn reactie: 'U leert al heel goed Duits spreken.'

In 1928 gaf hij dus college in Madras en voor Chandrasekhar was dit een unieke kans met de beroemde theoretisch natuurkundige kennis te maken. Chandrasekhar, net 18 jaar oud, had toen al Sommerfeld's boek over de bouw van de atomen gelezen en hij meende volledig op de hoogte te zijn van de laatste ontwikkelingen van de moderne natuurkunde. Met jeudige overmoed en onkundig van Duitse gebruiken, zocht hij contact met Sommerfeld die vermoedelijk nooit eerder zo informeel was aangesproken. En nog wel door een student, een student die nog niet eens zijn kandidaatsexamen had gedaan. Wat een teleurstelling om van de schrijver zelf te horen dat het boek volkomen achterhaald was en dat de natuurkunde fundamenteel was veranderd sinds dat boek werd geschreven. Twee

jaar eerder had de Oostenrijker Erwin Schrödinger laten zien dat kleine deeltjes zoals elektronen, eigenschappen hebben die op golven lijken. Deeltjes zijn deeltje en golfje tegelijk. In de formules van Schrödinger is heel duidelijk te zien wat daarmee wordt bedoeld en Chandrasekhar raakte gefascineerd door deze abstracte beschrijving van de natuur. Hij had er nog niet eerder van gehoord. Zijn docenten aan de University of Madras in het verre Brits Indië waren nog niet op de hoogte van de nieuwe ontdekkingen die aan het andere eind van de wereld waren gedaan. Sommerfeld gaf Chandrasekhar kopieën van recente artikelen. Hij las ze en deed zelf onderzoek en toen werd die wedstrijd uitgeschreven. Chandrasekhar deed zijn doctoraalexamen met zulke cijfers dat hij een beurs kreeg om in Engeland een proefschrift te schrijven aan de University of Cambridge, bij de hoogleraren Eddington en Fowler.

In 1930 vertrok Chandrasekhar naar Engeland. De bootreis zou een maand duren, een maand waarin hij ongestoord enkele ideeën uit wilde werken die tijdens zijn studie waren blijven liggen door de vele tentamens. Chandrasekhar realiseerde zich dat Fowler de problemen van de compacte sterren maar ten dele had opgelost. Zijn idee om de pas ontdekte quantummechanica te gebruiken was goed maar niet goed genoeg. Wat was namelijk het geval? Als een ster samentrekt wordt de dichtheid groter waardoor de atoomkernen en de elektronen minder ruimte krijgen. Je zou dus verwachten dat de snelheden waarmee die deeltjes door elkaar krioelen klein worden, ze hebben immers nauwelijks ruimte om te bewegen. Maar volgens een theorie van Pauli is deze conclusie toch niet juist. Door de grote dichtheid is de bewegingsruimte weliswaar klein, maar dat wil niet zeggen dat de snelheden ook klein zijn. In die beperkte ruimte krijgen juist steeds meer deeltjes een grote snelheid en deze conclusie had ongekende gevolgen. Wanneer een voorwerp beweegt, wordt zijn massa groter. Voor een snelheid van enkele duizenden kilometers per uur is die toename onmeetbaar klein, maar als de snelheid tweehonderdduizend kilometer per seconde wordt, moet met de massaverandering terdege rekening worden gehouden. Voorwerpen die een snelheid hebben vergelijkbaar met de lichtsnelheid, bewegen volgens de regels van de speciale relativiteitstheorie

van Einstein. Chandrasekhar breidde de theorie van Fowler uit door de relativiteitstheorie toe te passen en nog tijdens de bootreis schreef hij twee artikelen over dit onderwerp. Enkele maanden later zou hij pas zijn twintigste verjaardag vieren.

Wat is nu de grote vondst van Chandrasekhar? De massa en de straal van een ster zijn twee heel karakteristieke grootheden en je kunt je afvragen of er een relatie tussen die twee bestaat. Een gedachtenexperiment kan dit misschien verduidelijken. Een gedachtenexperiment is een proef die in het laboratorium niet mogelijk is, maar je kunt hem wel in gedachten doen. Dit is minder onzinnig dan het op het eerste gezicht lijkt. Grote natuurkundigen zoals Albert Einstein en Niels Bohr maakten vaak gebruik van gedachtenexperimenten om hun ideeën duidelijk te maken, niet alleen aan anderen maar ook aan zichzelf.

Ons gedachtenexperiment gaat nu als volgt. Je hebt een ster waarvan je de massa en de straal kent. Bovendien heb je een gigantische hoeveelheid materie die je op de één of andere manier op die ster kunt dumpen. Hoe, dat is niet belangrijk. Elke keer als je wat materiaal op de ster hebt gegooid meet je zijn nieuwe massa en zijn nieuwe straal. De massa wordt groter, allicht. Wat met de straal gebeurt, is minder eenvoudig in te zien doordat twee elkaar tegenwerkende effecten een rol spelen. De straal wordt groter omdat materie op de buitenkant van de ster wordt gedumpt en de straal wordt kleiner omdat het toegevoegde materiaal de onderliggende lagen samenperst. Volgens de theorie van Fowler is het netto effect dat de ster kleiner wordt, maar het gaat wel heel erg langzaam. Als de ster van het gedachtenexperiment twee maal zo zwaar is geworden als de zon heeft verdere toevoeging van materiaal nog maar weinig invloed op de straal. De ster zit zo compact in elkaar dat je hem niet verder kunt samenpersen, hoeveel materiaal je er ook op dumpt.

Maar een gedachtenexperiment, wat heeft dat nu met de realiteit te maken? Heel veel, het is zelfs realiteit. Wij kunnen zo'n experiment niet doen, maar de natuur wel. Als een ster aan het eind van zijn leven is gekomen, wordt de temperatuur binnenin lager waardoor de gasdruk vermindert en de ster stort in. De materie die naar binnen valt, zorgt ervoor dat de dichtheid daar groter wordt en er ontstaat een witte dwerg.

Ondertussen blijft het gas van de buitenste lagen op de pas ontstane dwerg vallen, die daardoor voortdurend zwaarder wordt. En wat gebeurt er met de straal? Volgens Fowler niet zo veel. De witte dwerg wordt wel zwaarder, maar niet veel groter. Hij blijft een dwerg. Dit wil zeggen dat er allerlei soorten witte dwergen bestaan, hele lichte en hele zware en ze zijn allemaal ongeveer even groot.

Om de juistheid van deze theorie te toetsen moet je van zoveel mogelijk witte dwergen de massa bepalen. Maar dat is eenvoudiger gezegd dan gedaan, van nog maar weinig sterren is de massa echt goed bekend. Hierdoor kon in 1930 de juistheid van deze theorie niet experimenteel worden aangetoond, maar de theorie van Fowler leek zo goed dat de astrofysici meenden dat een witte dwerg elke willekeurige massa kan hebben. Dit was de reden dat werd aangenomen dat alle sterren hun leven als witte dwerg eindigen.

Chandrasekhar's ideeën waren volkomen in tegenspraak hiermee. Laten we terug gaan naar ons gedachtenexperiment en beginnen met een ster zoals de zon. We maken zijn massa groter en meten de nieuwe straal. Die blijkt aanmerkelijk te zijn afgenomen. Scheppen we nog meer materiaal op de ster, dan wordt de straal nog veel kleiner. Bij iedere volgende schep wordt de ster meer en meer ineen geperst. De ster schrompelt voor onze ogen in en als zijn massa 1,4 maal zo groot is als de massa van de zon is de straal nul geworden. De ster is letterlijk verdwenen. Volgens de ideeën van Chandrasekhar kan een witte dwerg dus niet zwaarder zijn dan 1,4 maal de massa van de zon.

Nog tijdens de bootreis schreef hij twee artikelen over dit onderwerp en in Engeland aangekomen liet hij ze vol trots zien aan Fowler. Die reageerde niet erg enthousiast. Er zaten wel goede ideeën in, maar dat getal van 1,4 was natuurlijk niet mogelijk. Stel je voor, een ster die nog zwaarder is dan de zon zou aan het eind van zijn leven inkrimpen en blijven inkrimpen. Hij zou een doorsnede krijgen van 1 kilometer, van 1 meter, van 1 centimeter en tenslotte zou de hele ster niet groter zijn dan een speldeknop. En hij zou nog kleiner worden, nog veel kleiner tot hij helemaal in het niets verdwenen was. Kortom een onzinnige theorie.

Chandrasekhar was in 1933 klaar met zijn proefschrift en had daarna de gelegenheid zich opnieuw met de witte dwergen bezig te houden. Hij bekeek het probleem van alle kanten en werkte de ingewikkelde wiskundige formules tot in detail uit. Dit onderzoek bevestigde zijn eerdere conclusie dat zware sterren geen witte dwerg kunnen worden, maar aan het eind van hun leven ineenschrompelen en in het niets verdwijnen. Hij was nu zo zeker van zijn zaak dat hij zijn resultaten op een bijeenkomst van Royal Astronomical Society wilde toelichten. Deze vereniging van beroepsastronomen kwam elke tweede vrijdag van de maand bijeen om van gedachten te wisselen over sterrenkundige zaken. Het was gewoonte dat de sprekers een week voor de vergadering aan Miss Williams, de secretaresse van de Society, mededeelden over welk onderwerp ze een voordracht wilden houden. De donderdag daarop gaf ze Chandrasekhar de agenda voor de volgende dag en tot zijn stomme verbazing zag hij dat Eddington meteen na hem zou spreken over 'relativistische degeneratie'. Dit was nota bene precies het onderwerp waar hij zich het afgelopen jaar in had verdiept. Hoe was het mogelijk dat Eddington hem hier niets over had verteld, ze zagen elkaar toch dagelijks. Diezelfde avond nog, na het diner in één van de gebouwen van de universiteit, zou hij proberen met Eddington in contact te komen. Nu waren de verhoudingen in die dagen niet zo, dat je op een hoogleraar toestapte om hem te vertellen dat je verbaasd was over zijn gedrag. Chandrasekhar drentelde dan ook wat rond in de koffiekamer en waarachtig daar had je Eddington.
'Ik begrijp dat je morgen naar Londen gaat? Ik heb de secretaris gevraagd je meer spreektijd te geven, 30 minuten in plaats van het gebruikelijke kwartiertje.'
Einde gesprek.

De volgende dag in Londen, kort voor het begin van de vergadering in Burlington House. Groepjes astronomen drinken thee, een laatkomer die haastig binnenkomt. Verloren in de drukte zien we een gespannen Chandrasekhar, hij is in gesprek met William McCrea, een specialist op het gebied van de relativiteitstheorie. Chandrasekhar heeft al eerder een voordracht voor dit gezelschap gehouden, maar deze keer is toch anders, want na hem spreekt Eddington over precies hetzelfde onderwerp, terwijl bekend is dat Eddington grote twijfels heeft. Daar komt Eddington hun richting uit en de mannen groeten elkaar. Eddington wil doorlopen, McCrea spreekt hem aan.
'Professor Eddington wat gaat u ons vertellen over relativistische degeneratie?' Eddington kijkt Chandrasekhar aan. 'Dat wordt een grote verrassing voor jou.'
Het werd een grote verrassing, een grote onaangename verrassing.
'Dr. Chandrasekhar heeft over degeneratie gesproken. Er bestaan twee uitdrukkingen die in dit verband worden gebruikt, de gewone degeneratie en de relativistische degeneratie. Misschien kan ik het beste beginnen met u het verschil uit te leggen.'
Na een technische verhandeling gaat hij verder.
'Ik weet niet of ik levend uit deze vergadering kan ontsnappen, de reden is dat relativistische degeneratie helemaal niet bestaat. Indien je de wiskundige afleiding van de formules voor de relativistische degeneratie beschouwt, is geen fout te ontdekken. Men moet echter dieper in de fysische grondslagen spitten, en die zijn niet onverdacht. De formule is gebaseerd op een combinatie van relativistische mechanica en niet-relativistische quantumtheorie en naar mijn mening zijn de nakomelingen van een dergelijk huwelijk het gevolg van een buitenechtelijke gemeenschap.' Het is doodstil in de zaal, de meest prominente astrofysicus heeft een vernietigend oordeel uitgesproken over een slanke, donkere jongeman uit een Britse kolonie die nu verstard voor zich uitstaart. Moet hij opstaan, vertellen dat Eddington niet heeft begrepen wat hij bedoelt? Heel in de verte hoort hij de voorzitter de spreker bedanken. De vergadering is afgelopen.

Het jaar daarop wordt in Parijs een bijeenkomst van de Internationale Astronomische Unie gehouden en weer is Eddington één van de sprekers en weer valt hij Chandrasekhar aan. Zijn oordeel is nu nog harder. Relativistische degeneratie is een dwaling! Chandrasekhar zit in de zaal maar hij is niet uitgenodigd een voordracht te houden. Het wordt steeds duidelijker wat de kern is van het meningsverschil. De vraag is niet of zware sterren wel witte dwerg kunnen worden, de discussie is veel fundamenteler. Het gaat om de vraag of Chandrasekhar de theorie van de quantummechanica wel goed

heeft toegepast, is die theorie wel geldig onder de extreme condities in compacte sterren? Een theoretisch natuurkundige moet het beslissende woord spreken. Bohr en Pauli, de ontdekkers van de quantumtheorie, voelen er weinig voor zich in de strijd te mengen. Aarzelen ze, of hebben ze andere dingen aan hun hoofd? Vermoedelijk is dit laatste het geval, uit hun brieven blijkt dat ze Chandrasekhar's argumentatie goed vinden. Moreel gesteund en overtuigd van zijn gelijk moet Chandrasekhar een beslissing nemen. Vechten en al zijn energie gebruiken om zijn gelijk te halen, of er een boek over schrijven en iets heel anders gaan doen? Het werd het boek *An Introduction to the Study of Stellar Structure.*

Chandrasekhar heeft Engeland verlaten en is naar de Yerkes Sterrenwacht in de Verenigde Staten gegaan. Hij had genoeg van Europa en zijn wetenschappelijke congressen en hij nam zich voor ze nooit meer bij te wonen. Pas in 1979 heeft hij zich laten overhalen een lezing te houden op het congres van de Internationale Astronomische Unie dat in dat jaar in Montreal werd gehouden. Toen vertelde hij ook over de machteloosheid die hij had gevoeld. 'Met de reus in dit vakgebied tegenover me, wat moest ik als gekleurde jongen uit één van de koloniën anders doen?'

Wie heeft nu gelijk? Zoals altijd in de natuurwetenschappen kan alleen een experiment de juistheid van een theorie aantonen. In de sterrenkunde is een experiment vaak een waarneming, in dit geval de waarneming van een dubbelster. Uit de baanbeweging van dubbelsterren is de massa van de sterren te bepalen en naarmate de jaren verstrijken wordt van meer en meer witte dwergen de massa bepaald. Al die massa's zijn kleiner dan 1,4 maal de massa van de zon, er is geen enkele witte dwerg gevonden die een grotere massa heeft. Het getal 1,4 is tegenwoordig een fundamenteel getal in de astrofysica, we noemen het de limiet van Chandrasekhar.

Deze strijd tussen twee geniale mensen maakt duidelijk dat wetenschap mensenwerk is. Het prestige en gezag van een autoriteit als Eddington maakte het voor anderen onmogelijk om argumenten tegen elkaar af te wegen en een objectieve keus te maken. Hoe vaak zie je niet dat leeftijd en verbale potentie een veel grotere invloed hebben dan de kwaliteit van de argumenten, we zien het in de politiek, we zien het overal.

Een plezierige bijkomstigheid is dat Chandrasekhar nooit enige rancune heeft gevoeld, hij was overtuigd van de integere motieven van zijn leermeester en deze twee mensen zijn altijd vriendschappelijk met elkaar om blijven gaan. Dit blijkt onder meer uit Eddington's brieven aan Chandrasekhar waarin hij hem nauwkeurig op de hoogte houdt van zijn fietstochten en van zijn pogingen zijn persoonlijk record te verbeteren. Duizenden kilometers fietsen om het getal *n*, dat hij zijn quantumsprong noemt, te vergroten. Op 4 juli 1933 schrijft hij: 'Mijn *n* is nog steeds 75. Met Pasen heb ik pech gehad omdat ik twee fietstochten van 74 3/4 mijl heb gemaakt die niet meetellen. Ik moet nog vier tochten maken voor de volgende quantumsprong, maar het weer was prachtig en het landschap schitterend, voornamelijk Zuid-Wales.'

Chandrasekhar is de belangrijkste mathematisch astrofysicus van deze eeuw geworden en het is volkomen terecht dat hij in 1983 de Nobelprijs kreeg voor zijn theorie van de witte dwergen. Deze theorie is later weliswaar iets veranderd, maar dat doet niets af aan zijn prestatie. In 1930 was het neutron nog niet ontdekt en Chandrasekhar had met dat deeltje geen rekening gehouden. Tegenwoordig is bekend dat alleen de allerzwaarste sterren aan het eind van hun leven ineenschrompelen tot ze zijn verdwenen. Dan worden ze zwarte gaten genoemd. Sterren die maar iets zwaarder zijn dan de limiet van Chandrasekhar schrompelen ineen tot een bal die niet groter is dan 20 kilometer. Omdat ze dan helemaal uit neutronen bestaan hebben ze de naam neutronenster gekregen.

4 HA! EEN VROUW

De grote collegezaal van het fysisch laboratorium in Cambridge zit stampvol. Het is eind 1919 en de oorlog met Duitsland lijkt heel lang geleden. De spreker is een slanke jonge man die de relativiteitstheorie van Einstein uitlegt. Anderhalf jaar eerder zou het niet mogelijk zijn geweest de theorie van een Duitser in een Engelse collegezaal te behandelen. De haatgevoelens van de oorlogsjaren zijn gelukkig verdwenen en nu vertelt Eddington over die beroemde Duitse natuurkundige en over zijn theorie van de gewelfde ruimte. 'Alleen tijdens een totale zonsverduistering is de welving van de ruimte zichtbaar en daarom heeft onze universiteit expedities naar Afrika en Brazilië georganiseerd.' Hij vertelt boeiend en gebruikt nauwelijks formules, want deze lezing is voor de hele universitaire gemeenschap bedoeld. Het is doodstil in de collegezaal. De toehoorders zijn in de ban geraakt van de spreker die als in trance vertelt over de twee maanden durende bootreis naar Principe en over de maand voorbereiding in de tropische hitte. En dan over de verduistering zelf die nog geen vijf minuten heeft geduurd.

Cecilia Payne luistert ademloos, ze is eerste jaars en studeert biologie. Het vak is haar tegengevallen, de colleges zijn saai en de practica vervelend. Nu zit ze hier en ze realiseert zich dat ze veel liever astrofysica wil studeren.

Natuurkunde was een vak voor mannen en is dat trouwens nog steeds. In het fysisch laboratorium was ze dan ook de enige vrouw die de colleges van Rutherford volgde. De Nieuw Zeelander Ernst Rutherford was net benoemd tot directeur van het Cavendish laboratorium. Hij was een opvallende figuur in Cambridge en niet alleen vanwege zijn postuur. Zijn stem die door het laboratorium schalde was minstens even bekend als zijn gebrek aan goede manieren. Hij hield van een borrel en ging er prat op dat de alcohol hem het leven had gered tijdens

de oorlog. Bij een bezoek aan Zweden had hij zich laveloos gedronken waardoor hij zijn schip niet terug kon vinden dat dan ook zonder Rutherford vertrok. Op de Noordzee werd de boot door de Duitse marine getorpedeerd.

Volgens de regels van de universiteit zat Cecilia in de collegezaal van het Cavendish laboratorium in haar eentje op de eerste rij. Hoe voel je je als vrouw tussen de heren studenten achter je en de onbehouwen Rutherford die letterlijk en figuurlijk op je neer kijkt? Elk college begon op precies dezelfde manier. Rutherford kwam binnen, legde zijn aantekeningen neer en keek vervolgens met vorsende blik de zaal in alsof hij naging wie aanwezig was. 'Ha! een vrouw.' Hij staarde haar lang en nadrukkelijk aan, keek dan over haar hoofd de zaal in en begon zijn college. 'Dames en Heren.' En iedere keer weer reageerden de heren op precies dezelfde manier met applaus en gestamp op de grond. Wat een gevoel voor humor, je zal er maar zitten als meisje.

Met Eddington maakte ze kennis op een avond dat de sterrenwacht voor het publiek was opengesteld. Er was veel belangstelling, want het was helder en de bezoekers mochten door de telescoop kijken. Henry Green, één van de wetenschappelijk medewerkers, had het instrument op een dubbelster gericht.
'U kunt nu goed zien dat sterren kleuren hebben. De ene is heel rood en de ander blauw.'
'Dan kan het toch geen dubbelster zijn', reageerde Cecilia. 'Als die twee bij elkaar horen dan zijn ze even oud en moeten ze dezelfde kleur hebben.'
Met wat toen bekend was over de evolutie van sterren was dit een prima redenering en toen Cecilia bleef aandringen kon Green niet anders doen dan toegeven dat hij het antwoord niet wist. Niet rechtstreeks natuurlijk, dat doe je in zo'n situatie niet.
'Ik moet even weg, kun jij even bij de telescoop blijven?'
Terwijl hij dit tegen haar zei draaide hij het instrument naar het Andromeda-stelsel. Dit was nu wat sterrenkunde zo fascinerend maakt. Dat wazige vlekje waarin heel vaag een spiraalstructuur is te zien. In werkelijkheid zijn het miljarden sterren die zo ver weg staan dat we geen individuele sterren

meer kunnen onderscheiden. Ademloos tuurde ze door het oculair en misschien heeft ze wel heel lang in die houding gestaan. Ze schrok op toen ze achter zich zachtjes hoorde lachen. Dat was Green niet, achter haar stond Eddington!
'Ik wil sterrenkunde studeren, zou dat kunnen?'
'Ik voorzie geen onoverkomelijke bezwaren.' Het klinkt niet heel enthousiast en dat is ook begrijpelijk als je bedenkt dat in die jaren weinig vrouwen gingen studeren en zeker geen sterrenkunde. Hoewel de University of Cambridge al vanaf 1870 vrouwelijke studenten accepteerde zou het nog tot 1940 duren eer vrouwen aan deze universiteit een proefschrift konden schrijven en promoveren. De sterrenkundestudie was een apart geval. Sterrenkundestudenten moeten 's nachts waarnemingen doen en vrouwen kregen daar geen toestemming voor, waardoor deze studierichting nagenoeg onmogelijk werd. Waarom deze patriarchale maatregel? Is het echt nodig vrouwen in bescherming te nemen tegen de gevaarlijke werkomstandigheden op een sterrenwacht? Je kunt alleen maar gissen waar de heren bestuurders aan dachten toen ze beslisten dat een meisje niet in de donkere koepel van een sterrenwacht mag werken. Eddington was echt heel progressief. Vergelijk zijn antwoord eens met de reactie van professor Stratton, de directeur van het zonneobservatorium, aan wie ze vertelde dat ze astrofysica als hoofdvak wilde kiezen. 'Je kunt er niet op rekenen meer te worden dan een amateur.'

Ze begon haar sterrenkundig werk daarom bij Eddington. Hij formuleerde voor haar een onderzoek waarbij nogal wat wiskunde nodig was, ongetwijfeld met de bedoeling eens na te gaan welke capaciteiten de jongedame had. En dat viel niet tegen. Cecilia is een heel eind gekomen, maar uiteindelijk bleken de wiskundige problemen toch te groot. Toen ze Eddington hulp vroeg, vertelde hij haar eerlijk dat hij al jaren lang probeerde dit probleem te kraken, maar dat hij er geen gat in zag. Haar tweede onderzoek heeft ze wel tot een goed einde kunnen brengen en dit werd haar eerste wetenschappelijke publikatie. Tegen het einde van haar studie raakte ze er steeds meer van overtuigd dat ze wetenschappelijk onderzoek wilde blijven doen, maar dit was in Engeland uitgesloten. Lerares op een meisjesschool was de enige baan die ze met haar opleiding zou kunnen vinden.

Eén van de meest markante medewerkers op het instituut was de promovendus Comrie. Deze oorlogsveteraan uit de Eerste Wereldoorlog was één van de anderhalf miljoen Engelse mannen die blijvend letsel had overgehouden. Hij was nagenoeg doof geworden en had een been verloren, maar door zijn enorme wilskracht was hij op de tennisbaan bijna niet te verslaan. Na zijn promotie zou hij op een sterrenwacht in de Verenigde Staten gaan werken en hij raadde Cecilia aan ook te emigreren omdat ze daar als vrouw veel meer kansen had. Hij vertelde haar dat Harlow Shapley was benoemd tot directeur van de Harvard sterrenwacht en dat hij was uitgenodigd om in Londen een lezing te houden ter ere van het eeuwfeest van de Royal Astronomical Society. Comrie was van plan er heen te gaan en hij bood Cecilia aan haar aan Shapley voor te stellen. Cecilia Payne kende Shapley van naam, ze had zijn artikelen over bolvormige sterrenhopen gelezen. Na afloop van de lezing maakte ze kennis met de spreker en zoals altijd als ze iets wilde liet ze er geen gras over groeien.
'Ik zou graag naar Amerika gaan en op uw instituut komen werken.'
'Als Miss Canon met pensioen gaat kun je haar opvolgen.'

Harvard College Observatory was synoniem met Pickering's harem. Toen Cecilia Payne in 1923 in Harvard kwam was Pickering dood, maar de harem was er nog wel.

Miss Canon was een levende legende. Als kind was ze doof geworden, maar ze leed er niet merkbaar onder. Met haar scherpe metaalachtige stem, die zo kenmerkend is voor mensen die zelf niet kunnen horen wat ze zeggen, was ze een toonbeeld van opgewektheid. Ze was één van de 'computers' van de sterrenwacht. Op elke sterrenwacht heb je ze, want sterrenkunde is een vak waarbij veel moet worden gerekend. Tegenwoordig zijn computers apparaten met chips erin, vroeger waren het vrouwen. De Harvard sterrenwacht had er ongeveer vijftien en zoals goede computers betaamt, deden ze precies wat hen gezegd werd, een computer neemt zelf geen initiatieven.

En toen kwam er een meisje uit Engeland dat vond dat ze te goed was om computer te zijn. Dat meisje had astrofysica gestudeerd en wilde wetenschappelijk onderzoek doen en ze wist

precies welk onderzoek. Een onderzoek dat ze in Engeland niet kon doen omdat ze een vrouw was.

In artikelen die hij in 1920 en 1921 publiceerde had de fysicus Saha zijn ionisatietheorie van atomen opgesteld. Atomen in een gas bewegen met grote snelheid door elkaar en botsen daardoor voortdurend waardoor ze elektronen kunnen verliezen. Een atoom dat één of meer elektronen mist noemen we een ion. Deze ionen zullen proberen weer atoom te worden door loslopende elektronen te vangen. Er zijn dus twee processen die elkaar tegenwerken en als ze allebei even frequent voorkomen is er een evenwicht ontstaan. In die evenwichtssituatie veranderen op elk ogenblik evenveel atomen in ionen als omgekeerd en dat wil zeggen dat er een vaste verhouding is tussen het aantal atomen en ionen. Saha kon die verhouding berekenen als functie van temperatuur en druk.

De university of Cambridge zag in het werk van Saha grote perspectieven voor toekomstig astrofysisch onderzoek en besloot deze theorie tot onderwerp te maken van de Adams Prize. Deze prijs wordt elke twee jaar toegekend aan de schrijver van een artikel over een van te voren opgegeven onderwerp. En deze keer was het onderwerp *The physical state of matter at high temperatures* waarbij expliciet werd vermeld dat de theorie gebruikt moest worden om sterrenspectra te interpreteren. Iedereen die in Cambridge had gestudeerd en zijn studie met een proefschrift had afgerond kon mee doen. Iedereen dus, dat wil zeggen iedereen behalve vrouwen want die konden in Cambridge niet promoveren.

En dit nu was het onderzoek waar Cecilia Payne haar zinnen op had gezet. In eerste instantie botste het met de ideeën die Shapley had over het inschakelen van vrouwen bij wetenschappelijk onderzoek: er was immers nog een plaatsje vrij in de harem. Het is tekenend voor Shapley's visie dat hij Cecilia toch vrij liet haar eigen weg te zoeken en hij stimuleerde haar gebruik te maken van de enorme hoeveelheid foto's van sterrenspectra die op de sterrenwacht werden bewaard.

De Harvard sterrenwacht was omstreeks 1920 een onderzoeksinstituut waar geen studenten werden opgeleid en Shapley wilde dit veranderen. Zijn ideaal was om natuurkundestudenten al in hun eerste jaar colleges sterrenkunde te

geven en ook wilde hij de mogelijkheid openen dat studenten op een astronomisch onderwerp konden afstuderen en eventueel promoveren. Hij had zelfs de naam van de eerste promovendus al in gedachten. Cecilia wilde niet wachten tot dit alles op bestuurlijk niveau was geregeld en ze zou daarom moeten promoveren bij de heer Lyman, hoogleraar directeur van het fysisch laboratorium. Zij had er geen probleem mee dat een fysicus die weinig of niets van haar onderzoek begreep toch haar promotor zou zijn. Professor Lyman had wel bezwaren en hij was daar heel duidelijk in. 'Ik weiger promotor te zijn van een vrouw.' Het is nooit bekend geworden welke diplomatieke trucs Shapley heeft moeten gebruiken om de promotie van Cecilia toch mogelijk te maken. Ze gaf haar proefschrift de titel *Stellar atmospheres: a contribution to the observational study of matter at high temperatures*. Dit laatste om de heren in Engeland aan het denken te zetten. Met de theorie van Saha en gebruik makend van de foto's van sterrenspectra van Harvard heeft ze twee fundamentele ontdekkingen gedaan.

De eerste was een temperatuurschaal voor sterren. Natuurlijk was al bekend dat je hete en koele sterren hebt, maar hoe heet en hoe koel? Shapley vond haar resultaat zo belangrijk dat het ogenblikkelijk moest worden gepubliceerd.

De tweede ontdekking was de meest opzienbarende. Nu ze wist hoe heet sterren zijn, kon ze ook uitrekenen hoeveel atomen en ionen van de verschillende elementen voorkomen. Ze kon dus de chemische samenstelling van de sterren bepalen. In het jargon van de astrofysicus wordt dit de abondantie van de elementen genoemd. Hierbij is niet interessant hoeveel kilogram van elke stof voorkomt, het gaat om de onderlinge verhoudingen. En die waren heel verrassend. Volgens Cecilia Payne bestaan sterren bijna helemaal uit waterstof en helium, 83 procent waterstof en 15 procent helium. De resterende twee procent kan van alles zijn. Zuurstof, goud of zilver, noem maar op. Sterren hebben dus een andere chemische samenstelling dan de aarde waar lang niet zoveel waterstof voorkomt. Deze vondst was zo sensationeel dat Shapley het manuscript van Cecilia's dissertatie door Russell liet beoordelen. Henry Norris Russell was inmiddels hoogleraar aan de Princeton University en had door zijn studie van sterrenspec-

tra wereldfaam verworven. Over het geheel genomen vond hij het een goed stuk werk maar hij had toch ook wel een aantal bezwaren. 'Er is nog een veel ernstiger tegenstrijdigheid – namelijk met waterstof, helium en zuurstof. Ik ben er van overtuigd dat er iets volledig fout is met de huidige theorie. Het is volstrekt onmogelijk dat er een miljoen maal zoveel waterstof is als ijzer.' Vervolgens suggereerde hij haar dat ze zijn theorie van de metastabiele toestanden maar eens moest gebruiken, dan zou wel duidelijk worden dat waterstof helemaal niet zo veel voorkomt.

Wat doe je als dé autoriteit op dit gebied zoiets over je onderzoek zegt? Hij weet het natuurlijk het beste en daar houd je rekening mee. In de definitieve versie van het proefschrift lezen we dan ook het volgende: 'Het opvallendste verschil in chemische samenstelling tussen de aarde en de sterren vinden we bij waterstof en helium. De enorm grote abondantie die voor deze elementen in sterren wordt gevonden is bijna zeker niet reëel.' Waarna ze nog iets vaags zegt over een bijzondere eigenschap van het waterstofatoom die dit misschien zou kunnen verklaren.

Had ze zich maar niet laten imponeren door de hooggeleerde Russell. Al binnen enkele jaren bleek uit het werk van verschillende andere onderzoekers dat sterren wel degelijk bijna helemaal uit waterstof en helium bestaan. Vier jaar later was ook Russell overtuigd en hij schreef een beroemd geworden artikel over de chemische samenstelling van de zon. Daarin lees je natuurlijk niet dat Cecilia Payne al eerder had ontdekt dat de zon bijna helemaal uit waterstof bestaat en dat Russell dat toen een absurd resultaat had gevonden. Je leest evenmin dat diezelfde Russell verlangde dat ze haar conclusie afzwakte en anders formuleerde. Zoiets doe je natuurlijk niet, astrofysici zijn tenslotte ook maar gewone mensen.

Heeft Cecilia zich hierdoor gekrenkt gevoeld? We weten het niet, ze heeft zich er nooit over uitgelaten. Misschien vond ze het te onbelangrijk om boos over te worden, haar proefschrift werd immers unaniem als buitengewoon belangrijk beschouwd. Wel heeft ze altijd ondervonden dat ze als vrouw werd behandeld, als vrouw in de mannenwereld van de wetenschap. En dat betekent knokken voor je rechten en hard wer-

ken voor een laag salaris.

Pas aangekomen in de Verenigde Staten leek het werkelijk 'De Nieuwe Wereld' waar alles mogelijk was en in zekere zin was dat ook zo. In Engeland, in het studentenhuis, mochten de meisjesstudenten na het avondeten niet meer naar buiten en om elf uur ging het licht uit. Hier was ze vrij. Er waren tijden dat ze letterlijk dag en nacht werkte. Zo voor de hand liggend, als je inspiratie hebt en het gaat lekker, dan werk je 's nachts door. Creatief zijn is nu eenmaal niet in te roosteren. In dit land kon je als jonge vrouw ook gerust auto rijden zonder dat je patserig of ordinair werd gevonden. Hier was de auto een gebruiksvoorwerp; wat een verschil met Engeland! 'Alle mensen zijn gelijk', zeggen ze in China, 'maar sommigen zijn meer gelijk.' Zo is het altijd en overal en vrouwen behoorden tot de minder gelijken ook in wetenschappelijke kringen in Amerika.

Plaskett was directeur van het Dominion Astrophysical Observatory. De sterrenwacht ligt net buiten Victoria op Vancouver Island in Canada. Het landschap is schitterend, uitgestrekte naaldbossen met prachtige rotskusten. Hij zocht een medewerker en bij voorkeur een Engelsman vanwege de banden met het moederland. Russell wist wel iemand die hij kon aanbevelen en die binnenkort een baan zocht. 'De allerbeste hier is Cecilia Payne. In het komende voorjaar is ze met haar onderzoek klaar.' Sterrenkundigen doen veel waarnemingen, meestal 's nachts. Betekent dit dat hun aktiviteiten het daglicht niet kunnen velen? Je zou het wel denken als je het antwoord leest. 'Ik ben bang dat een vrouw op deze afgelegen plek problemen veroorzaakt tijdens de waarnemingen en ik kan zelfs niet in overweging nemen haar te benoemen.'

Shapley voorzag gelukkig minder problemen met een vrouw over de vloer. Hij wilde haar graag op het instituut houden waar ze kon worden ingeschakeld bij het onderwijs aan de eerste jaars, dat binnenkort voor het eerst zou worden gegeven. Nu is bekend dat beleidsmakers heel anders over onderwijs denken dan degenen die het onderwijs geven en het onderwijs volgen. Beleidsmakers zijn meer geïnteresseerd in organisatiestructuren dan in de kwaliteit van het onderwijs, terwijl dit laatste toch het enige criterium is waarop een opleiding mag worden beoordeeld. Een vrouwelijke docent, als je daar eenmaal mee begint is het einde zoek, moeten de bestuurders van

Harvard hebben gedacht en Cecilia Payne mocht niet worden aangesteld.

Shapley had haar nodig en heeft zijn poot stijf gehouden zodat er een compromis werd gevonden. Een oplossing die in die tijd misschien als vooruitstrevend werd gezien, maar die in wezen heel vernederend was. Ze kon geen wetenschappelijk medewerker worden en werd daarom aangesteld als amanuensis. Shapley liet haar natuurlijk wel colleges geven, maar die mochten niet in de studiegids worden vermeld, als bestuurder moet je tenslotte aan de goede naam van de universiteit denken. Pas in 1945 werd haar naam voor de eerste maal in de studiegids genoemd.

Op 11 december 1930 schrijft ze een onverwacht openhartige brief aan Russell waarin ze zegt dat ze de afgelopen vier jaar op Harvard heel onplezierig heeft gevonden. '...mijn naam mag niet in de studiegids worden genoemd, ik geef colleges maar ze worden niet in de gids vermeld en ik word betaald, geloof ik, als een 'apparaat', ik heb geen officiële aanstelling zoals een wetenschappelijk medewerker. Vermoedelijk is dit onmogelijk en dat heb ik ook altijd geweten, toch voel ik me hierdoor teleurgesteld. Ik hoef geen hoog salaris te hebben, maar in alle eerlijkheid, ik denk dat ik meer waard ben dan de 2300 dollars die ik nu krijg.' Ze wil meer verdienen en ze wil toestemming krijgen om in de zomermaanden andere sterrenwachten te bezoeken. Aan Russell vraagt ze of dit redelijke eisen zijn. Het is niet bekend hoe Russell hierover dacht. Waarschijnlijk wilde hij zijn vingers niet branden en heeft daarom niet geantwoord.

1932 Was een druk jaar voor de astronomen op de Harvard sterrenwacht, ze organiseerden de wetenschappelijke bijeenkomst van The International Astronomical Union. Dit betekent dat honderden astronomen uit de hele wereld hier bijeen waren om met elkaar over hun vak te praten. Veel lezingen, werkgroepen en heel veel informele bijeenkomsten. Een gigantische hoeveelheid werk voor de gastheren en gastvrouwen om dit alles in goede banen te leiden, maar voor jonge astronomen zoals Cecilia ook een kans als nooit tevoren om kennis te maken met al die mensen die ze van naam kende en waarvan ze artikelen had gelezen. Als gastvrouw hielp ze waar ze helpen kon. Zo vertaalde ze voor professor Kopff uit Berlijn een stukje uit

het Duits in het Engels waarna ze het voor hem typte. Terwijl hij de tekst las betrok zijn gezicht en hij hield de brief voor haar neus en wees op het woord 'Nazional'. 'Dat', zei hij emotioneel, 'is een woord dat ik niet wil zien.'
Deze simpele typefout, 'Nazional' in plaats van 'National', confronteerde Cecilia met de veranderingen in Europa. Veranderingen waar de Amerikanen nog geen weet van hadden.

Het jaar daarop was een jaar met moeilijk te accepteren tegenslagen, een vriend en een vriendin kwamen om het leven en Cecilia's verkering raakte uit. Ze voelde zich depressief en was niet in staat zich te concentreren op haar werk. Gelukkig was er iemand die alle tijd nam om naar haar te luisteren, de jonge Nederlander Bart Bok, die op uitnodiging van Shapley naar Harvard was gekomen. In zulke situaties is het advies voor de hand liggend: je moet er eens uit, eens even alles vergeten. Hij hielp haar met de voorbereidingen van een reis langs Europese sterrenwachten.

Haar eerste bezoek was Cambridge, waar ze professor Stratton wilde vertellen dat er een vrouw voor hem stond die had gestudeerd en die nu het beroep van astronoom had; zijn denigrerende opmerking van enkele jaren geleden was ze nog steeds niet vergeten. Stratton was juist terug van een bezoek aan Duitsland en hij vertelde hoe afschuwelijk de sfeer daar was. 'Iedereen roept Heil Hitler.' Het beangstigde haar dat hij zo minachtend over de Duitsers deed en ze moest weer denken aan de boosheid van Kopff.

Van Cambridge reisde ze via Leiden en Kopenhagen naar Finland. In Helsinki nam ze het watervliegtuig naar Tallin, de hoofdstad van Estland. Toen was dit nog een onafhankelijke republiek. Tijdens de bijeenkomst van The International Astronomical Union in Cambridge had ze kennisgemaakt met de Rus Gerasimovic die kort voor de laatste lezing arriveerde. Toen was het voor Russen heel moeilijk een uitreisvisum te bemachtigen door een bijna niet te nemen bureaucratische barrière en hij had haar uitgenodigd hem op te zoeken als ze in Europa kwam. En nu was ze de enige passagier in de trein van Tallin naar Leningrad. Bij het grensstation waren alle reizigers uitgestapt en er waren slechts twee mannen aan boord gekomen. Het waren leden van de geheime politie die nu al hun

aandacht konden geven aan een alleenreizende jonge vrouw uit het Westen. Haar bagage werd minitieus doorgesnuffeld en haar geld tot op de cent geteld. Dit laatste gaf nog wel een klein probleem omdat Cecilia haar portefeuille op haar blote lijf bewaarde en ze niet in het Russisch kon duidelijk maken waarom ze zich gedeeltelijk uit moest kleden. Een veel groter probleem vormde een ansichtkaart met een religieuze afbeelding. De prent was gemaakt door de achttiende eeuwse Engelse kunstenaar William Blake. Na veel aarzelen en eindeloze discussies werd besloten dat 'de allerhoogste' toch toestemming kreeg de Sovjet Unie binnen te komen en Cecilia mocht de kaart weer in haar koffer opbergen.

De trein rolde het station van Leningrad binnen, een groot leeg station met onleesbare opschriften. Gelukkig kwam daar in de verte Gerasimovic aanlopen. Hij verontschuldigde zich dat hij zo laat was, hij had geen vervoer. Uiteindelijk had hij toch een chauffeur gevonden die hem met zijn vrachtauto naar het station wilde rijden en nu moest hij zijn gast uitleggen dat het in Rusland streng verboden is om met z'n drieën in de kabine van een vrachtauto te zitten. Maar voor Cecilia was dit geen probleem, liggend op de bodem bereikte ze de Pulkova sterrenwacht. Een angstige veertiendaagse vakantie was begonnen.

De economische situatie was beroerd en voedsel was schaars. Die avond organiseerde Gerasimovic ter ere van het bezoek een feestje waarbij een exotische drank uit een verre wereld werd gedronken. Cecilia had een pak koffie meegebracht en voor de Russen was dit de eerste koffie sedert vele jaren. Bij het diner werden wortelen opgediend, niet bepaald een delicatesse voor een gast uit het welvarende Amerika en Gerasimovic vertrouwde haar nog wel toe dat wortelen nergens te koop waren, deze had hij de avond te voren gestolen uit een tuin in de buurt. Cecilia was sprakeloos, de directeur van een grote sterrenwacht, een vooraanstaand astronoom zoals Shapley, moet wortelen stelen om zijn Amerikaanse gast een diner te kunnen bereiden. Het werd haar nu heel duidelijk dat ze in een andere wereld was. De schaarste en overal die militairen, alles wees erop dat in Europa oorlog zou komen.

Gerasimovic maakte zich weinig illusies over de toekomst.

'Als ik zie wat er met mijn land gaat gebeuren, dan wil ik een einde maken aan mijn leven.' Bij het afscheid kreeg Cecilia een geborduurd tafellaken. 'Het is traditie om een vriend die een verre reis gaat maken een tafellaken mee te geven.' Heeft Gerasimovic gevoeld dat ze elkaar niet weer zouden ontmoeten en was dit cadeau wellicht symbolisch voor de verre reis die hij drie jaar later zelf zou maken? In oktober 1936 nodigden de Harvard astronomen hem uit een serie colleges te komen geven. Zijn antwoord was kort. 'Sorry regret cannot come.' Ongeveer tegelijkertijd verzond hij nog een handgeschreven, niet ondertekend briefje dat hij in grote problemen verkeerde en dat hij alle contacten moest beëindigen. Uit elk woord sprak de angst van een wanhopig mens. De angst voor de terreur van Stalin. Van Boris Gerasimovic is nooit meer iets vernomen.

In 1957, enkele jaren na de dood van Stalin, werd in een Russische krant uit 1937 een bericht gevonden dat de geheime politie vijanden van de Sovjet astronomie had geliquideerd. Er worden geen namen genoemd, maar één van de slachtoffers kwam uit Leningrad en hij had bij de University of Charkov gewerkt en zich kritisch uitgelaten over de Marxistisch-Leninistische ideologie bij het natuurwetenschappelijk onderzoek. Het moet Boris Gerasimovic zijn geweest. Het zou nog dertig jaar duren voor hier zekerheid over werd verkregen. Door de glasnost in de Sovjet Unie kunnen nu archieven worden bestudeerd. Op 30 november 1937 werd Boris Gerasimovic door een militaire rechtbank ter dood veroordeeld wegens misdaden tegen de staat. Dezelfde dag werd hij door een vuurpeloton terechtgesteld.

De terugreis ging via Tallin en Berlijn naar Göttingen, één van de belangrijkste Duitse universiteitssteden. Ze wilde daar een bijeenkomst bijwonen van het Astronomische Gesellschaft. In de grote collegezaal kwam iemand van het organiserend comité naar haar toe met wat brieven. 'Dit is post die voor u is gekomen, Miss Payne.' Naast haar zat een jongeman die had meegeluisterd en zich nu naar haar toe boog. 'Bent U Miss Payne? Ik ben Sergei Gaposchkin, ik heb geprobeerd u te vinden' en hij gaf haar een brief. 'Wilt u dit eens lezen?' Cecilia

raakte onder de indruk van het levensverhaal van deze Russische astronoom die naar het Westen wilde. Hij had gedacht dat Miss Payne een wat oudere Amerikaanse dame was die voldoende connecties had om voor hem een verblijfsvergunning te organiseren. Terug in de Verenigde Staten heeft ze daar inderdaad voor gezorgd en in maart 1934 zijn ze getrouwd.

De Gaposchkins hebben samen veel gepubliceerd over veranderlijke sterren en hoewel Cecilia moeder werd van drie kinderen heeft ze altijd veel tijd aan haar werk kunnen besteden en ze is een eminent astronoom geworden. In 1956, toen het door de emancipatie niet langer de gewoonste zaak van de wereld was dat mannen vrouwen discrimineren, werd ze de eerste vrouwelijke hoogleraar van de Harvard University.

Drieëndertig jaar eerder had Comrie haar succesvolle carrière voorzien. Hij stelde haar voor aan Shapley en schreef toen ze solliciteerde een aanbevelingsbrief. Een brief voor mannen onder elkaar. 'Ik ken geen vrouw in Engeland die meer kans van slagen heeft op Harvard dan Miss Payne. Dit kan ik nog over haar zeggen (wat onder ons blijft). Ik geloof dat zij het type is dat, als ze de kans krijgt, haar leven aan de sterrenkunde zal wijden en dat ze niet, als ze na een paar jaar is ingewerkt, de benen neemt om te gaan trouwen.'

5 DE ENERGIE VAN DE ZON

Maandag 30 januari 1933 is een rampzalige dag geweest, niet alleen voor Duitsland maar voor de hele wereld. Het was de dag waarop een 43-jarige Oostenrijker werd benoemd tot kanselier van het Duitse Rijk. Zijn naam: Adolf Hitler. Op 27 februari is hij op bezoek bij één van zijn trawanten. Joseph Goebbels woont in Berlijn en heeft Hitler uitgenodigd voor het diner en het is beslist geen toeval dat het juist deze avond is. Na het eten, als het gezelschap luistert naar de muziek van grammofoonplaten rinkelt de telefoon. Ernst Hanfstaengl, een vriend van Hitler, is aan de lijn. 'De Rijksdag staat in brand.'

De mannen springen in hun auto en als ze op de spookachtig verlichte Königsplatz aankomen is Göring, die zijn ambtswoning tegenover de Rijksdag heeft, al aanwezig en hij gaat als een razende tekeer. 'Dit is het begin van de communistische revolutie. ...Vannacht nog zullen we alle communistische afgevaardigden opknopen.' Kennelijk staat het voor de president van de Rijksdag vast dat de brand een aanslag is van de communisten. Het is een niet te blussen, uitslaande brand die op meerdere plaatsen is begonnen. Hoewel het nooit met absolute zekerheid is bewezen, twijfelt geen historicus eraan dat Göring het gebouw in brand heeft laten steken om de communisten in diskrediet te brengen. De volgende dag al wordt als decreet uitgevaardigd dat verschillende artikelen van de grondwet zijn vervallen om de staatsgevaarlijke activiteiten van de communisten onmogelijk te maken. Bovendien komt op een aantal misdrijven, waaronder verstoring van de openbare orde, de doodstraf te staan. Toch is dit nog maar het begin. Op 23 maart komt de Rijksdag bijeen in het gebouw van de Opera. Het parlement moet stemmen over een serie maatregelen die er op neerkomen dat ze afstand doet van haar bevoegdheden en die overdraagt aan het kabinet. Het voorstel wordt met een overweldigende meerderheid van 441 stemmen voor en 84 tegen aangenomen en Hitler heeft de macht in handen.

Binnen een week worden de eerste rassenwetten afgekondigd, nu zijn de joden het doelwit. Deze mensen mogen geen openbare ambten meer bekleden en universiteiten mogen geen joodse medewerkers in dienst hebben.

Als dit gebeurt, is Hans Bethe op wintersportvakantie in Oostenrijk. Hij studeerde in 1928 af in de theoretische natuurkunde bij Sommerfeld in München en hij heeft nu een baan bij de universiteit van Tübingen waar Hans Geiger hoogleraar is in de experimentele fysica. Geiger is een bekwaam experimentator die in Engeland bij Rutherford heeft gestudeerd. Hij is de uitvinder van een apparaat waarmee je radioactieve straling kunt detecteren en dat naar hem is genoemd, de Geiger-teller. Enkele jaren eerder was hij voorgedragen als opvolger van Lenard in Heidelberg. Lenard was een felle antisemiet die bovendien alles wat Engels was haatte en hij maakte er bezwaar tegen dat de in Engeland opgeleide Geiger hem zou opvolgen. Geiger is beslist geen nationaal-socialist en hij kan met Bethe, die een joodse moeder heeft, bijzonder goed overweg.

Op zijn vakantieadres krijgt Bethe een brief van één van zijn studenten. 'Ik heb in de krant gelezen dat u bent ontslagen. Wat moet ik doen?'
Bethe had hier zelf nog niets over gehoord en hij vraagt het kranteknipsel op te sturen. Als hij zekerheid heeft, schrijft hij een brief aan Geiger. Het antwoord is onthutsend, in ambtelijke, formele taal antwoordt Geiger dat hij de samenwerking als beëindigd beschouwt. Geen persoonlijk woord, niet dat het hem spijt dat dit moest gebeuren, helemaal niets. Het moet een uiting van onmacht en angst zijn geweest. Sommerfeld reageert heel anders. 'Je bent hier hartelijk welkom. Ik zal voor een positie zorgen. Je kunt komen.'

Hij was een man met buitengewone didactische gaven die grote invloed heeft gehad op de ontwikkeling van de natuurkunde in Duitsland, vooral doordat hij zoveel studenten heeft opgeleid die later vooraanstaande posities kregen. De rassenwetten van Hitler die voor een aantal universiteiten ronduit rampzalig waren, omdat zoveel medewerkers werden ontslagen, lieten de universiteit van München nagenoeg onberoerd. Deze katholieke universiteit had jarenlang sollicitanten gediscrimineerd door geen joden te benoemen. Al in 1924 was het an-

tisemitisme hier zo stuitend dat Richard Willstätter, hoogleraar scheikunde, demonstratief zijn ontslag indiende. Negen jaar later had Sommerfeld de moed Hans Bethe aan te stellen als zijn medewerker. Maar het zou niet voor lang zijn.

De hoofdstad van Beieren was een centrum van nationaal-socialistische aktiviteiten. Zes jaar voor het uitbreken van de Tweede Wereldoorlog werd 15 kilometer ten zuiden van München al een concentratiekamp gebouwd. In de Münchener Neuesten Nachrichten van 21 maart 1933 deelde Himmler, toen nog commissaris van politie, dit mee alsof het de gewoonste zaak van de wereld was. Dachau zou de naam worden van een hel waar 150 000 mensen werden vermoord.

Ook op de universiteit liepen nazi's rond maar Bethe realiseerde zich onvoldoende wat dit betekende. Een technicus van het instituut hoorde hem met een communistische medestudent over de politieke situatie praten en kwam naar hen toe. 'Luister jongens, wat jullie doen is gevaarlijk. Praat hier niet over. Er loopt hier iemand rond die jullie aangeeft.'

In de winter van 1932 was in het laboratorium van Rutherford in Cambridge een nieuwe bouwsteen van de atoomkern ontdekt. Dit neutron is even zwaar als een proton maar het heeft geen elektrische lading. Het was een spectaculaire vondst die een groot aantal fysische problemen oploste en Sommerfeld besloot er een studiedag aan te wijden. Op de convocatie werden de namen van de sprekers vermeld en één van de sprekers was Hans Bethe die de theoretische consequenties van deze ontdekking zou toelichten. De avond tevoren werd hem te verstaan gegeven dat hij de lezing niet kon houden omdat studenten met gewelddadige ordeverstoringen hadden gedreigd als 'die jood' het woord zou voeren. Hiermee was de maat vol en Hans Bethe hield Duitsland voor gezien. Zijn besluit om te emigreren werd gemakkelijk gemaakt omdat hij een baan kon krijgen in Manchester, hoewel het afscheid van zijn familie hem zwaar viel. Hij had vooral zijn moeder graag meegenomen maar financieel was dit onmogelijk, want zijn ouders waren gescheiden en het was niet toegestaan haar alimentatie naar het buitenland over te laten maken. Waarschijnlijk ook kon ze de ernst van de situatie niet goed onder ogen zien, het zou alle-

maal wel meevallen. Maar het viel niet mee. Tijdens razzia's in de herfst van 1938 werden familieleden gearresteerd en zijn moeder moest de gele ster opspelden als ze buiten kwam. Haar besluit stond nu vast en ze had geluk. Duitse joden mochten het land niet meer verlaten maar omdat ze in Straatsburg was geboren kon ze als Franse jodin toch nog vertrekken.

Hans Bethe is één van de vele Duitse natuurkundigen die voor de terreur van Hitler zijn gevlucht. Tot halverwege de jaren dertig was Duitsland de bakermat van de moderne natuurkunde en het is opvallend dat zoveel van die briljante fysici uit joodse families kwamen. Onder de scheikundigen was dat veel minder uitgesproken. In de eerste dertig jaar van onze eeuw ontwikkelde de natuurkunde zich stormachtig, met name door de formulering van de relativiteitstheorie door Albert Einstein en de quantummechanica van Max Planck. Het gevolg was dat in deze vakgebieden nogal wat formatieplaatsen bij de universiteiten beschikbaar kwamen. Talentvolle joodse studenten kregen hier hun kans te excelleren, vooral omdat bij sollicitaties bijna altijd advies werd gevraagd aan Sommerfeld en Planck, die niet aarzelden een bekwame joodse kandidaat aan te bevelen. Het gevolg was wel dat door Hitlers waanzinnige rassenwetten juist de natuurkunde-afdelingen van de universiteiten werden getroffen. Een kwart van alle fysici in Nazi-Duitsland werd er het slachtoffer van, vier van hen waren Nobelprijswinnaar en zeven anderen zouden die prijs later nog krijgen. Deze getallen laten ondubbelzinnig zien hoeveel geniale natuurkundigen Duitsland had. Max Planck heeft Hitler gewezen op de consequenties van deze uittocht. Het antwoord was duidelijk. 'Onze nationale politiek zal niet herroepen of veranderd worden, zelfs niet voor geleerden. Als het ontslag van joodse geleerden het verdwijnen van de huidige Duitse wetenschap betekent, dan zullen we het een aantal jaren zonder wetenschap doen.'

En zo is het ook gebeurd.

Bethe is niet lang in Engeland gebleven, al na een jaar kreeg hij een baan aangeboden aan de Cornell University in de Verenigde Staten en daar is hij zijn hele leven gebleven. Hij voelde zich er meteen op zijn gemak en gaf graag college aan

de Amerikaanse studenten. Wel was hij verbaasd dat hun wetenschappelijk niveau zoveel lager was dan van een vergelijkbare groep Duitse studenten en ook de kennis van zijn collega's viel hem tegen. Je moet oppassen uit één zo'n waarneming de conclusie te trekken dat het natuurkundig onderzoek in Amerika op een lager pitje stond dan in Europa. In de Verenigde Staten bestaan grote verschillen tussen de universiteiten onderling, een Amerikaan vermeldt dan ook altijd waar hij heeft gestudeerd. Er waren ook in die tijd stellig laboratoria waar belangrijk werk werd gedaan, vergelijkbaar met het wetenschappelijk onderzoek in Duitsland. Ook moet je bedenken dat Bethe een uitzonderlijk begaafd natuurkundige was, die als geen ander een compleet overzicht had van het kernfysisch onderzoek. Hij werd dan ook vaak op andere instituten uitgenodigd om een lezing te houden en dit bracht hem op het idee enkele artikelen te schrijven over de stand van zaken.

Medewerkers uit die tijd herinneren zich hoe Bethe zich in een schemerdonker hoekje terugtrok met niet meer dan een stapel papier en een vulpen. Dan schreef hij urenlang, alles uit zijn hoofd en foutloos. In zijn manuscripten tref je zelden verbeteringen aan. Hij had er ook geen enkel probleem mee gestoord te worden door een student of een collega. Als het gesprek beëindigd was, pakte hij zijn pen weer op en ging, zonder het voorafgaande te lezen, verder met schrijven op het punt waar hij was gebleven. De hele kernfysica vatte hij samen in drie lange artikelen die bekend zijn geworden als *'De bijbel van Bethe'*.

In het voorjaar van 1938 werd hij gevraagd deel te nemen aan een conferentie in Washington. Twee natuurkundigen in deze stad, George Gamov en Edward Teller, hadden een groep van vierendertig natuurkundigen en sterrenkundigen bijeengebracht om samen te brainstormen over de energieproduktie in sterren.

Jaren eerder had Eddington al bewezen dat in sterren zoals de zon de temperatuur in het centrum minstens twintig miljoen graden moet zijn, maar niemand wist hoe die hoge temperatuur was ontstaan en hoe die in stand werd gehouden.

Er waren natuurlijk wel ideeën. In de tweede helft van de vorige eeuw meenden de natuurkundigen te weten hoe de zon

aan zijn energie komt. De gangbare opvatting was dat hij heel geleidelijk inkrimpt waardoor potentiële energie wordt omgezet in warmte en dit zou betekenen dat de zon steeds kleiner moet worden, ieder jaar dertig meter. In vergelijking met de diameter van de zon is dit heel weinig en vanaf de aarde zou het beslist niet zichtbaar zijn. Daardoor was het ook niet mogelijk te bewijzen of deze theorie goed was of fout. Er waren wel twee argumenten die vóór de theorie pleitten. Het eerste was de geruststellende gedachte dat de zon nog heel lang licht en warmte zou kunnen uitzenden. De zon heeft een straal van 700 000 kilometer en als daar ieder jaar dertig meter van af gaat is hij pas na 20 miljoen jaar op. Zo lang kunnen we dus nog voort. Het andere argument was dat de zon voldoende lang heeft kunnen schijnen om het leven op aarde mogelijk te maken. In die tijd meende men immers dat het leven op aarde niet ouder was dan enkele duizenden jaren. Pas toen biologen beargumenteerden dat voor de evolutie van het leven een veel langere tijdsduur noodzakelijk was, begonnen de natuurkundigen te twijfelen. De theorie van de inkrimpende zon kreeg de genadeslag door de ontdekking rond de eeuwwisseling van de radioactiviteit. Door onderzoek van dit verschijnsel is Rutherford beroemd geworden.

Niet-stabiele kernen veranderen, doordat ze kerndeeltjes uitstoten, in kernen van een andere soort. Door nu te bepalen hoeveel van elke soort in een gesteente aanwezig is, kun je berekenen hoe lang dit vervalproces al aan de gang is en daarmee ken je de ouderdom van het gesteente. Uit dat onderzoek bleek dat de aarde enkele miljarden jaren oud is. Omdat de aarde en de zon praktisch tegelijk zijn ontstaan uit een wolk van stof en gas die samentrok, moet ook de zon een leeftijd van een paar miljard jaar hebben. Het is uitgesloten dat de zon al die tijd energie heeft geproduceerd door in te krimpen. Er moet dus een andere energiebron zijn en dit bracht Eddington er toe te veronderstellen dat kernenergie voor de energieproduktie zou kunnen zorgen, maar dit vermoeden heeft hij nooit kunnen bewijzen.

In 1929 werd een klein stapje voorwaarts gemaakt door een publikatie van Atkinson en Houtermans. De astrofysica is zo'n uitgebreid onderzoeksgebied dat zelden één man of vrouw genoeg overzicht heeft om een geheel nieuwe richting in te slaan, de ontdekking van de kernfusie in sterren is daar een voorbeeld van.

De Oostenrijker Fritz Houtermans studeerde in 1928 in Göttingen en ontmoette daar George Gamov die toen net het tunneleffect ontdekte. Deze theorie verklaart dat positief geladen deeltjes door een tunnel in de wand van de kern naar buiten kunnen ontsnappen. Na zijn promotie bij James Franck vond Fritz een baan in Berlijn waar de Engelse astronoom Atkinson op bezoek kwam. Robert Atkinson kende het werk van Eddington en hij was op de hoogte van de problemen die er waren om de energieproduktie van sterren te verklaren. Dat gesprek met Atkinson veroorzaakte bij Houtermans de vonk waar een nieuw idee mee begint. Het tunneleffect, dat moest het zijn. Als deeltjes door een tunnel uit de kern kunnen ontsnappen, moet in die tunnel tweerichtingsverkeer mogelijk zijn. Contact met Gamov was toen snel gelegd en met z'n drieën besloten ze het probleem op te lossen. Waar doe je dat beter dan in een Oostenrijks wintersportplaatsje? Zo werd in Zürs, een gehucht ten zuiden van Lech, het eerste artikel over kernfusie in sterren geschreven. Het zou geen klassiek artikel worden want eigenlijk waren de drie mannen hun tijd vooruit, ze konden het probleem niet oplossen omdat ze het neutron niet kenden. Helaas heeft Fritz Houtermans door de politieke ontwikkelingen in Europa geen rol van betekenis kunnen spelen op het terrein dat hij als eerste had betreden.

Hij was het enige kind van een saaie conservatieve Nederlandse bankdirecteur en een levenslustige intellectuele joodse moeder. Het hoeft niet te verbazen dat het huwelijk geen succes was en na de scheiding werd Fritz door zijn moeder opgevoed. Hij groeide op in haar progressieve vriendenkring in Wenen, daar werd hij gevormd en daar voelde hij zich thuis. In Göttingen en Berlijn was dat nog duidelijk merkbaar. Hij was een gezelschapsdier met een grandioos gevoel voor humor en hij had een onuitputtelijke hoeveelheid jodenmoppen paraat. Studeren deed hij in een café, omringd door koffiekoppen en boeken.

Toen Hitler aan de macht kwam, werkte hij in Berlijn waar hij het drama onder zijn ogen zag gebeuren en hij realiseerde zich dat een joods fysicus met communistische vrienden in dit

land een gruwelijke toekomst had. Als je het in die tijd wilde zien, dan zag je dat Hitler een misdadiger was en Fritz nam de enige juiste beslissing, hij vertrok uit Duitsland. In Engeland vond hij een baan op het researchlaboratorium van 'His Master's Voice' waar hij onderzoek ging doen naar de versterking van licht. Ook nu was hij zijn tijd ver vooruit. Pas jaren later werd dit effect, waarop de werking van de laser berust, technisch mogelijk. Houtermans is niet lang in Londen gebleven. De saaie Engelse levensstijl zonder het uitbundige uitgaansleven van Midden-Europa en de weinig fantasierijke Engelse keuken bevielen hem niet en hij vertrok met zijn gezin naar Charkow in de Sovjet Unie. In deze industriestad in de Oekraïne was een nieuw technisch-fysisch laboratorium waar nogal wat buitenlanders werkten. Hun levensomstandigheden waren, zeker vergeleken met die van de Russische collega's, niet slecht. Ze hadden ruime woningen en konden in speciale winkels hun inkopen doen. Toch zou de beslissing hier naar toe te gaan, zijn leven ruïneren.

In 1934 begon Stalin zijn meedogenloze terreur tegen de leden van de communistische partij die hem aan de macht hadden geholpen en hierbij werd de top van de partij geliquideerd. Het was het begin van de zuiveringen die tienduizenden Russen het leven zouden kosten. In 1937 werden de buitenlanders die in de Sovjet Unie woonden opgepakt op verdenking van spionage. Eén van hen was Fritz Houtermans. Zijn echtgenote realiseerde zich dat ze als Duitse vrouw maar beter het land kon verlaten en met hun twee kleine kinderen stapte Charlotte op de trein naar Riga, de hoofdstad van het toen nog onafhanklijke Letland en vandaar reisden ze naar Kopenhagen. Ze had fysische chemie gestudeerd en kende Niels Bohr. Die heeft haar geholpen naar de Verenigde Staten te emigreren waar ze een baan in het onderwijs heeft gevonden.

Fritz heeft ruim twee jaar in voorarrest gezeten zonder dat een aanklacht tegen hem werd ingediend. Al die tijd werd hij ondervraagd en gemarteld. Wekenlange eenzame opsluiting gevolgd door verhoren waarbij hij urenlang stil moest staan onder het licht van felle lampen. Hij moest en zou bekennen dat hij een Duitse spion was. Mentaal wapende hij zich door geestelijk bezig te blijven. In gedachten, hij had immers geen potlood en papier, loste hij zelf bedachte problemen uit de

getallentheorie op. Maar de kwellingen werden wreder en toen al zijn tanden uit zijn mond waren geslagen, heeft hij tenslotte maar verteld dat hij een apparaat had gemaakt waarmee de snelheid van Russische vliegtuigen kon worden gemeten. De technische details waren volstrekt absurd en hij hoopte dat een deskundige hieraan zou kunnen zien dat hij door de martelingen gedwongen was iets te bekennen. Ook heeft hij toegegeven in opdracht van officieren van de Duitse generale staf te werken en hij heeft namen genoemd, de namen van twee Pruisische generaals die meer dan honderd jaar eerder tegen Napoleon hadden gevochten en die hij zich uit de geschiedenisles herinnerde. Zijn ondervragers, die minder goed waren geïnformeerd over de West-Europese historie, trapten er in en hij werd verder met rust gelaten.

In augustus 1939 ondertekenden Stalin en de Duitse minister van buitenlandse zaken Von Ribbentrop het Duits-Russische niet-aanvalsverdrag en dit heeft hem het leven gered. In 1940, toen het verdrag nog door Hitler werd gerespecteerd, werd hij naar Duitsland uitgewezen waar hij in handen viel van de Gestapo. Hij had het geluk dat Max von Laue, een fysicus die bewust in Duitsland was gebleven en die joden hielp, hem vrij wist te krijgen. Hij is toen theoretisch onderzoek gaan doen naar de mogelijkheid atoomkernen te splijten en binnen een jaar al deed hij de verrassende ontdekking dat je met plutonium een atoombom kunt maken. Een verrassende maar tegelijk ook een angstige ontdekking. Om te voorkomen dat Hitlergetrouwe fysici zouden proberen de bom te gaan maken, heeft hij zijn bevindingen opgeschreven maar geheim gehouden. Hij is de oorlog heelhuids doorgekomen en werd benoemd tot hoogleraar in Bern waar hij het fysisch laboratorium met groot enthousiasme heeft gemoderniseerd.

Zoals ook vaak bij slachtoffers van concentratiekampen is waargenomen, volgde na een opleving kort na de bevrijding, een diepe depressie in latere jaren. De beelden van de oorlog, de beulen, de geweldige angst en de vernederingen kwamen weer terug en de bevrijding bleek oneindig ver. Fritz Houtermans heeft die nachtmerrie nooit van zich af kunnen schudden en hij is aan de drank geraakt. Toen hij overleed was hij pas 62 jaar.

Het duurde tot 1937 voor weer een stapje vooruit werd gemaakt in het onderzoek naar de energieproduktie in sterren. In dat jaar toonde de Duitse natuurkundige Von Weizsäcker aan dat twee waterstofkernen kunnen fuseren tot zwaar waterstof. Een waterstofkern is niets anders dan een proton en zwaar waterstof is een kern die uit één proton en één neutron bestaat. In feite komt deze reactie dus neer op de omzetting van een proton in een neutron dat zich vervolgens aan het andere protonhecht. Zwaar waterstof is een isotoop van gewoon waterstof en beide komen in de natuur voor. Isotopen hebben precies dezelfde chemische eigenschappen, het enige verschil is dat de één een beetje zwaarder is dan de ander. Een reactie zoals Von Weizsäcker beschreef is een voorbeeld van een kernfusie. Twee atoomkernen versmelten tot een zwaardere kern en het bijzondere daarvan is dat er een geweldige hoeveelheid energie bij vrijkomt. Wanneer je de massa van een proton en een neutron bij elkaar optelt krijg je een getal dat groter is dan de massa van de kern van zwaar waterstof. De hoeveelheid energie die de reactie levert bereken je met de formule $E = mc^2$ waarin m de verdwenen massa is en c de lichtsnelheid. Von Weizsäcker had dus aangetoond dat deze reactie mogelijk was, maar hij had niet bewezen dat de reactie ook de energie levert die de zon al miljarden jaren lang uitstraalt. Dit zijn namelijk twee volstrekt verschillende dingen. Laten we eens wat preciezer naar dit onderscheid kijken.

Atoomkernen zijn positief geladen deeltjes die elkaar afstoten zodra ze in elkaars buurt komen. Dit is een gevolg van de elektrische afstotingskracht. Veronderstel dat je één van de kernen door die afstotende kracht heendrukt zodat hij vlak bij de andere kern komt. Dan gebeurt plotseling iets merkwaardigs, de kernen worden onweerstaanbaar naar elkaar toe getrokken tot ze elkaar raken en er ontstaat een nieuwe kern. Wat voor kern? Dat hangt van de situatie af. Als het gaat om de botsing van twee waterstofkernen dan wordt een kern van zwaar waterstof gevormd. En dat is wat Von Weizsäcker had aangetoond en hij kon met de bekende formule van Einstein heel eenvoudig berekenen hoeveel energie vrijkomt als één kern van zwaar waterstof ontstaat.

Nu de vraag of dit in de zon gebeurt. Om dit te kunnen beantwoorden moet je uitrekenen hoeveel kernen van zwaar

waterstof iedere seconde ontstaan. Dat getal vermenigvuldigd met de energie die bij één reactie vrijkomt levert dan de totale energieproduktie van deze fusiereactie en dit vergelijk je vervolgens met de energie die de zon per seconde uitstraalt. Als die twee getallen gelijk zijn is er grote kans dat je het energieproducerend mechanisme van de zon hebt gevonden.

Dit was de stand van zaken in 1937 toen Gamov en Teller besloten een conferentie te organiseren over de energieproduktie van sterren. Hun idee was een klein aantal deskundigen uit te nodigen, die gezamelijk zouden proberen te bewijzen dat kernfusie het energiemechanisme van de zon is. Om alvast een begin te maken zetten ze hun student Charles Critchfield aan het werk. Er was toen al vrij veel bekend over de bouw van de zon. Cecilia Payne had uitgezocht hoeveel waterstof er is en Eddington had de temperatuur en druk in het centrum van de zon berekend. In feite was dat voldoende informatie, dachten ze. Maar het onderzoek liep toch vast door het grote aantal kernfysische problemen dat opdook en dit was de reden dat Hans Bethe te hulp werd geroepen. Tegen de tijd dat de conferentie in Washington begon waren ze eruit, Bethe en Critchfield hadden bewezen dat de fusie van waterstofkernen de kachel is die de zon op temperatuur houdt. De fusie houdt niet op wanneer zwaar waterstof is ontstaan maar gaat via een aantal stappen door tot er een heliumkern is gevormd. Deze serie reacties wordt de proton-proton reeks genoemd.

Tijdens de conferentie werd duidelijk dat de proton-proton reeks wel de energie van de zon levert, maar dat in zware sterren die veel meer energie uitstralen iets anders aan de hand moet zijn. Hans Bethe is toen alle mogelijke reacties nagegaan en heeft de CNO-cyclus ontdekt. De CNO-cyclus bestaat uit zes reacties waarbij net als bij de proton-proton reeks waterstof wordt omgezet in helium, alleen zijn de tussenstappen heel anders. Uit de fusie van waterstof en koolstof ontstaan achtereenvolgens stikstof, zuurstof en weer koolstof en de chemische symbolen van deze elementen hebben de naam gegeven aan dit proces. Het merkwaardige is dat koolstof hierbij optreedt als katalysator om de reacties mogelijk te maken. Zelf heeft hij deze ontdekking altijd sterk gerelativeerd. 'Ik ging stap voor stap door het periodiek systeem en zocht alle

kernen die met waterstof zouden kunnen fuseren. Niets scheen te werken en ik stond op het punt op te geven. Toen probeerde ik koolstof nog en het werkte. Zo zie je, dit was een ontdekking door transpiratie en niet door inspiratie. Toen ik de CNO-cyclus eenmaal had ontdekt kon ik de precieze berekeningen redelijk gemakkelijk maken want door mijn artikelen wist ik hoe kernreacties afhankelijk zijn van temperatuur enzovoorts.'

Altijd als je als onderzoeker iets hebt gevonden maak je dit resultaat bekend door het op te schrijven en te publiceren. Dit is niet alleen bedoeld om het intellectuele eigendom van je vondst te claimen maar ook om collega's te informeren zodat zij jouw resultaat kunnen gebruiken om een volgende stap in het wetenschappelijk onderzoek te kunnen doen. Bethe had zes weken nodig om alle berekeningen te maken en het artikel te schrijven, waarna hij het manuscript naar de Physical Review zond. Toen het artikel de deur uit was vertelde hij dit aan Bob Marshak, een student die onder zijn leiding aan zijn proefschrift werkte. 'Weet u niet dat de Academie van Wetenschappen in New York een prijs heeft uitgeloofd voor het beste artikel over de energieproduktie in sterren? U kunt 500 dollar verdienen. Waarom stuurt u het artikel daar niet naar toe? Maar het moet wel oorspronkelijk werk zijn dat niet eerder is gepubliceerd.' Nee, dat wist Bethe niet en 500 dollar is nooit weg, dus kreeg de redacteur het verzoek het artikel te retourneren en Bethe beloofde Bob Marshak 10 procent. Met dit artikel heeft Bethe de prijsvraag gewonnen en Bob Marshak 50 dollar. Bethe gebruikte de prijs om 250 dollar over te maken naar zijn geboorteland, dat bedrag verlangden de Nazi's alvorens zijn moeder toestemming kreeg naar de Verenigde Staten te emigreren.

Jaren later heeft het artikel nog veel meer geld in het laatje gebracht. In 1967 kreeg hij de Nobelprijs voor *his contribution to the theory of nuclear reactions, especially for his discoveries concerning energy production in stars.*

6 DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE FYSICI

Het blijkt een moeilijke opgave om het zomerhuisje op Long Island te vinden. Het schiereiland in de Atlantische Oceaan voor de kust van Connecticut is 's zomers het toevluchtsoord voor vakantiegangers uit de dichtbevolkte steden van oostelijk Noord-Amerika.

Edward Teller en zijn passagier Leo Szilard zoeken het vakantieadres van Albert Einstein, ze hebben een brief bij zich die de beroemde fysicus volgens een eerder gemaakte afspraak zal ondertekenen. Old Grove Road aan de noordkust van het schiereiland lijkt onvindbaar, maar een meisje van nog geen tien jaar, met twee lange vlechten, heeft die meneer met een snor en wollig wit haar wel eens gezien.

Einstein doet zelf open, zet een kop thee voor zijn gasten en ondertekent de brief die door Teller en Szilard is geschreven. Een brief aan president Roosevelt die Szilard persoonlijk op het Witte Huis zal gaan bezorgen, een brief ondertekend door een overtuigd pacifist.

Albert Einstein Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island

2 augustus 1939
F.D. Roosevelt
President van de Verenigde Staten
Witte Huis
Washington, D.C.

Mijnheer,

Recent onderzoek van E. Fermi en L. Szilard, waarvan ik via manuscripten op de hoogte ben gesteld, brengt mij ertoe te

verwachten dat het element uranium in de nabije toekomst een nieuwe en belangrijke bron van energie kan worden. Bepaalde aspecten van de situatie die is ontstaan, schijnen te vragen om waakzaamheid en, indien noodzakelijk, snelle actie van de regering. Ik meen derhalve dat het mijn plicht is de volgende feiten en aanbevelingen onder uw aandacht te brengen:

In de loop van de laatste vier maanden is het waarschijnlijk geworden – zowel door het werk van Joliot in Frankrijk als door dat van Fermi en Szilard in Amerika – dat het mogelijk wordt een kettingreactie te starten in een grote massa uranium waardoor enorme hoeveelheden energie en grote aantallen nieuwe radiumachtige elementen zouden worden geproduceerd. Op dit moment lijkt het vrijwel zeker dat dit in de nabije toekomst kan worden bereikt.

Dit nieuwe verschijnsel zou ook leiden tot de constructie van bommen en het is denkbaar – hoewel veel minder zeker – dat buitengewoon krachtige bommen van een nieuw type op deze wijze kunnen worden geconstrueerd. Eén enkele bom van dit type, die vervoerd wordt per boot en in een haven tot explosie wordt gebracht, zou heel goed de hele haven en een deel van het omringende gebied kunnen vernietigen. Het zou echter heel goed kunnen dat dergelijke bommen te zwaar zijn om door de lucht te worden vervoerd.

De Verenigde Staten hebben slechts zeer arme en *bescheiden hoeveelheden uraniumertsen. Er bevindt zich enige goede erts in Canada en in het voormalige Tsjechoslowakije, terwijl de belangrijkste bron van uranium de Belgische Congo is.*

In verband met deze situatie vindt u het misschien wenselijk een permanent contact te onderhouden tussen de regering en de groep fysici die in Amerika aan kettingreacties werken. Een mogelijke manier waarop u dit zou kunnen realiseren, is iemand die uw vertrouwen heeft en die misschien op onofficiële wijze zijn werk kan verrichten, met deze taak te belasten. Zijn taak zou het volgende kunnen inhouden:

a) het benaderen van de regeringsdepartementen, hen op de hoogte houden van de verdere ontwikkeling en het doen van aanbevelingen voor acties van de regering, waarbij speciaal aandacht moet worden besteed aan het probleem een voorraad uraniumerts voor de Verenigde Staten veilig te stellen;

b) het versnellen van het experimentele werk dat op het ogenblik binnen de grenzen van de budgetten van de universitaire laboratoria wordt verricht, door fondsen te verstrekken wanneer die verlangd worden, welke beschikbaar komen door zijn contacten met particulieren die bereid zijn bij te dragen aan deze zaak, en misschien ook door samenwerking te zoeken met de industriële laboratoria, die de noodzakelijke uitrusting hebben.

Ik heb vernomen dat Duitsland de verkoop van uranium uit de mijnen van Tsjechoslowakije, die ze heeft overgenomen, heeft stop gezet. Dat zo snel is gereageerd zou misschien kunnen worden toegeschreven aan het feit dat de zoon van de Duitse staatssecretaris van buitenlandse zaken, Von Weizsäcker, verbonden is aan het Kaiser Wilhelm Instituut in Berlijn, waar een deel van het Amerikaanse onderzoek met uranium nu wordt herhaald.

Met de meeste hoogachting,

Albert Einstein

De commissie die door president Roosevelt werd ingesteld bereikte weinig. De meeste fysici meenden dat de technische problemen bij de constructie van een atoomwapen onoverkomelijk waren terwijl de regering de Duitse dreiging niet als bijzonder ernstig beschouwde. Het Engelse *M.A.U.D.-rapport* was veel optimistischer over de mogelijkheid splijtingswapens te maken en het overtuigde veel Amerikaanse natuurkundigen. Maar om de regering en vooral het Amerikaanse volk zover te krijgen dat besloten kon worden de geweldige inspanningen te leveren die noodzakelijke waren, moest de Amerikaanse marine eerst vernietigend worden verslagen. Het plan hiertoe kwam op in het misdadige brein van de Japanse admiraal Yamamoto.

Eind november 1941 lichtten zes grote vliegdekschepen en talrijke slagschepen en kruisers het anker in een beschutte baai van een klein eiland van de Koerilen archipel in het noorden van Japan. Hun opdracht was om ongezien Hawaii te naderen en daar in de ochtend van 7 december de Amerikaanse Pacific Fleet in Pearl Harbor aan te vallen. Onzichtbaar in de winterstormen en onverwacht omdat de landen niet in oorlog waren, stoomde de Japanse vloot zuidwaarts. De aanval begon voor zonsopgang toen de schepen nog 400 kilometer ten noorden van Hawaii koersten. Er namen 360 vliegtuigen aan deel die om vijf voor acht hun eerste aanvalsgolf uitvoerden. Om tien uur was het inferno voorbij, de Pacific Fleet was vernietigd waarbij 2000 Amerikanen om het leven waren gekomen.

De Verenigde Staten konden niet anders doen dan Japan de oorlog verklaren.

De ontwikkeling van de atoombom, maar ook de bouw van kernenergiecentrales is mogelijk geworden door de ontdekking van het neutron. Veel eigenschappen van dit deeltje zijn onderzocht door Enrico Fermi die na zijn vlucht uit Italië was benoemd tot hoogleraar aan de Columbia University in New York.

In 1942 werd besloten het neutrononderzoek in Chicago te concentreren en Fermi, die niet meteen wilde verhuizen, reisde regelmatig op en neer. Niet zonder problemen, want vanaf het moment dat Amerika de oorlog verklaarde aan Italië was hij niet langer onverdacht en tot zijn grote ergernis mocht hij New York niet verlaten zonder speciale toestemming. Ook toen hij eenmaal in Chicago woonde bleef de veiligheidsdienst hem achtervolgen. Het was overduidelijk dat al zijn brieven werden geopend en dit was iets dat hij niet wenste te accepteren. In eerste instantie ontkenden de autoriteiten, maar je moet wel van heel goede huize komen om een briljant man als Fermi om de tuin te leiden. Het was allemaal de schuld van een lagere ambtenaar die de regels niet kende, het zou vanzelfsprekend niet weer gebeuren.

Enkele dagen later werden in huize Fermi een aantal Italiaanse krachttermen gehoord die duidelijk maakten dat er een probleem was ontstaan. Tussen de post die werd bezorgd, zat een kaart met voorgedrukte tekst waarop zijn naam was ingevuld. Het was duidelijk dat bij het sorteren een fout was gemaakt want de kaart was gericht aan de directeur van het postkantoor met de mededeling dat brieven aan Fermi pas bezorgd mochten worden nadat ze waren gecensureerd. Fermi, die heel slecht Engels sprak, is naar de betreffende ambtenaar gegaan die het Italiaans van die kleine kalende man niet verstond maar het toch wel volledig begreep.

Het grootste onderzoeksproject in Chicago waren de pogingen de eerste beheerste kettingreactie op gang te brengen. Dit onderzoek was om twee redenen belangrijk: met een beheerste reactie kun je een kernenergiecentrale bouwen en met een onbeheerste een atoombom. In de oorlogsjaren was het laatste veel urgenter dan het eerste, maar bedrijven zoals Westinghouse en General Electric voorzagen toen al dat ze door deel te nemen aan de produktie van de bom een geweldige technische voorsprong zouden krijgen.

In de herfst van 1942 had Fermi voldoende gezuiverd uranium om het experiment te starten in het nieuwe Argonne National Laboratory dat rond deze tijd door de bouwer zou worden opgeleverd. Een staking van de bouwvakkers dreigde het onderzoek van Fermi's groep zo te vertragen dat een andere plaats moest worden gezocht en die werd gevonden, niet buiten de stad maar in een ruimte onder de tribunes van een stadion in het centrum van Chicago. Terugkijkend is het onvoorstelbaar welke risico's toen zijn genomen in het centrum van een miljoenenstad.

Deze kernreactor was opgebouwd uit drie ingrediënten: uranium, grafiet en cadmium. Het uranium is de eigenlijke splijtstof. Als een uraniumkern zich in twee stukken deelt verdwijnt er een beetje massa, dat volgens Einstein's formule $E = mc^2$ in energie is veranderd. Bij dit proces komen neutronen vrij die in het grafiet dringen en daar worden afgeremd. Als hun snelheid voldoende klein is geworden kunnen andere uraniumkernen die neutronen weer absorberen, die dan op hun beurt weer splijten. Dit is nu wat we een kettingreactie noemen. Bij vreedzame toepassingen is het zaak het aantal splijtingen in de hand te houden en dat kan met cadmium. Dit metaal absorbeert de neutronen veel gemakkelijker dan het uranium waardoor je er de neutronen mee kunt wegvangen.

De bouw van de reactor begon in oktober door twee groepen geleerden die in ploegendienst 24 uur per dag werkten. Stukken uranium met een totaalgewicht van meer dan 40 ton werden in een regelmatig geometrisch patroon gestapeld, afgewisseld door stukken grafiet. Meer dan 400 ton zuiver grafiet was hiervoor nodig. In het bouwwerk waren verticale en horizontale sleuven uitgespaard om de cadmiumstaven in en uit te kunnen schuiven. Volgens de berekeningen van Fermi waren er genoeg horizontale staven om de reactie in de hand te houden, de verticale staven waren een voorzorgsmaatregel. Ze hingen aan een touw dat over een katrol liep en waaraan een stel gewichten was bevestigd. In geval van nood kon met een mes het touw worden doorgesneden waarna de staven in hun gleuven zouden vallen. Mocht de reactor ook hierdoor niet worden uitgeschakeld dan waren er nog voldoende vrijwilligers die rond de opstelling stonden met emmers cadmiumpoeder.

Het is allemaal goed gegaan. Op 2 december 1942 werkte de eerste kernreactor, maar hij moest al na 28 minuten worden uitgeschakeld omdat er nauwelijks bescherming was tegen de radioactieve straling. Het succes van het experiment werd aan ingewijden bekend gemaakt met de cryptische boodschap: *The Italian navigator has just landed in the new world.*

Enkele dagen later vielen de Japanners Pearl Harbor aan en nog dezelfde maand december stelde president Roosevelt 400 miljoen dollar beschikbaar om fabrieken te bouwen die uraniumisotopen zouden kunnen scheiden. De constructie van de atoombom was begonnen.

Het Manhattan Project was de codenaam voor de gigantische organisatie waarbij meer dan 150 000 mensen, waaronder 14 000 academici, voor een bedrag van twee miljard dollar drie atoombommen maakten. Veel fysici waren uit Europa gevlucht voor de Nazi's en vreesden dat de collega's die in Duitsland waren achtergebleven grote vorderingen maakten bij het kernfysisch onderzoek. Een atoomwapen in Duitse handen zou een ramp zijn voor de wereld en deze angst is voor velen ongetwijfeld de drijfveer geweest om mee te werken aan de ontwikkeling van de atoombom. Door de perfecte geheimhouding, zowel bij het fundamenteel onderzoek als bij de eigenlijke produktieprocessen, hebben nooit meer dan enkele honderden mensen

geweten aan welk afschuwelijk wapen ze werkten. Die geheimhouding werd mogelijk door de onderzoekers van de buitenwereld af te schermen in een nieuw gebouwde stad in New Mexico.

Los Alamos, New Mexico ligt 50 kilometer ten noorden van Santa Fé op een 2500 meter hoog vlak bergplateau. In het noorden begrensd door hoge bergen en in het zuiden uitkijkend over de eindeloze vlakte van de Rio Grande River met slechts hier en daar een indianendorpje. Los Alamos, de plaats waar de atoombom werd gemaakt.

Nooit eerder hebben zoveel geniale mensen samengewerkt en nooit eerder is de natuurkunde met zulke sprongen vooruit gegaan. In Los Alamos werkten acht Nobelprijswinnaars en nog diverse jongere onderzoekers die de prijs later in hun leven zouden krijgen. Hans Bethe was hoofd van de theoretische afdeling en hij werkte samen met Edward Teller die niet tevreden was met het doel van het project, toen al wilde hij liever de waterstofbom maken. Ook Fermi en Otto Frisch kwamen naar Los Alamos evenals George Placzek en nog honderden andere vooraanstaande fysici.

Al in 1944 realiseert Bohr zich welk lot de mensheid wacht als de atoombom wordt gebruikt. Hij is ervan overtuigd dat ook andere naties atoomwapens zullen gaan maken en dat een heilloze wapenwedloop het gevolg zal zijn. Naar zijn mening kan dit worden voorkomen als Stalin wordt ingelicht over het Manhattan Project en als in de toekomst natuurwetenschappers in oost en west gegevens uitwisselen en contacten onderhouden. Hij spreekt hierover met Churchill en met Roosevelt maar die hebben heel andere belangen op het oog en maken Bohr zelfs verdacht dat hij informatie aan de Russen zal doorspelen.

Ook verschillende Amerikaanse fysici beginnen zich eind 1944 af te vragen of het wel noodzakelijk is de bom te gebruiken, nu duidelijk is geworden dat Amerika de oorlog zal winnen. Vooral Szilard en Franck maken zich ernstig bezorgd over de wereld na het gebruik van de bom. Ze formuleren hun gedachten in een memorandum voor president Roosevelt en krijgen een aanbevelingsbrief mee van Einstein. Op 8 mei 1945

mogen ze hun standpunt komen toelichten op het Witte Huis, maar deze afspraak zal niet kunnen doorgaan. De president overlijdt op 12 april en zijn opvolger Truman is volstrekt niet voorbereid op zijn taak. James Franck besluit bekendheid te geven aan zijn zorgen en publiceert het *Franck-rapport*.

'...Vroeger zijn geleerden er vaak van beschuldigd dat zij nieuwe wapens, geschikt voor de wederzijdse vernietiging van naties, ter beschikking stelden, in plaats van het welzijn te verbeteren. Het is ongetwijfeld waar dat bijvoorbeeld de ontdekking van het vliegen de mensheid tot nu toe meer ellende dan profijt en plezier heeft bezorgd. Maar in het verleden konden de geleerden de directe verantwoordelijkheid voor het gebruik dat de mensheid van hun belangeloze ontdekkingen maakte, van zich afschuiven. Nu zijn wij echter gedwongen een actiever standpunt in te nemen, omdat het succes dat we hebben behaald met de ontwikkeling van kernenergie verbonden is met een oneindig veel groter gevaar dan alle ontdekkingen in het verleden. Wij allen, die bekend zijn met de stand van zaken op het gebied van de kernfysica op dit moment, leven met het beeld voor ogen van een plotselinge vernietiging van ons eigen land, een duizend maal grotere Pearl Harbor-catastrofe in elk van onze belangrijke steden...'

Maar ook dit kan niet voorkomen dat Truman besluit de bommen op Hiroshima en Nagasaki te gooien en dan gebeurt precies waar Niels Bohr voor heeft gewaarschuwd. Stalin, die nauwelijks belangstelling had voor de ontwikkeling van de bom, besluit dan dat ook de Sovjet Unie een kernwapen moet hebben. In september 1949 wordt in Alaska een verhoogde atmosferische radioactiviteit gemeten, het is de fall-out van een proefexplosie in Siberië. De Amerikaanse militairen en politici zijn volkomen verrast, het had hen onmogelijk geleken dat een ander land in staat zou zijn kernwapens te maken.

Niet lang daarna krijgt Hans Bethe bezoek van een vroegere collega uit de oorlogsjaren. 'Nu moeten we de super maken' zegt Edward Teller. De super is de troetelnaam die hij heeft gegeven aan het meest afschuwelijke wapen dat we kennen. Maar Hans Bethe voelt hier niets voor, naar zijn mening

bestaat er geen militaire noodzaak voor de ontwikkeling van de waterstofbom. Amerika heeft dan al zo veel atoombommen en ook vliegtuigen om ze te vervoeren dat de Sovjet Unie geen werkelijke bedreiging is voor het Westen. Bethe blijft veel liever in Ithaca wonen dan opnieuw naar Los Alamos te verhuizen. Hij geeft graag college en maakt zich bezorgd dat het universitaire onderwijs zal lijden onder een nieuw grootschalig onderzoek, zoals dat in de oorlogsjaren ook is gebeurd. Doordat toen nagenoeg alle fysici waren betrokken bij de ontwikkeling van nieuwe wapens, lag het onderwijs in de natuurkunde twee jaar stil en het heeft jaren geduurd voor de achterstand was ingelopen. Als Bethe en Teller over de wenselijkheid van de waterstofbom praten komt zijn echtgenote de studeerkamer binnen en ze luistert mee. Ze heeft een uitgesproken mening over de ethische aspecten van het wapenonderzoek en ze is daar nu heel duidelijk in. 'Dit mogen jullie niet doen.' Ook George Placzek probeert Bethe te overtuigen dat het waanzinnig is de waterstofbom te gaan maken en Bethe neemt de beslissing, hij belt Teller op en zegt dat hij niet mee doet. Helaas denkt niet iedereen er zo over, zeker de haviken in de Amerikaanse politiek niet en Truman geeft op 30 januari 1950 opdracht in versneld tempo de waterstofbom te maken. Als Bethe in juni een bezoek brengt aan Los Alamos wordt het hem tot zijn geruststelling duidelijk dat het onderzoek op een dood spoor is geraakt. Het lijkt onmogelijk om binnen een fractie van een seconde zo'n hoge temperatuur te maken dat protonen kunnen fuseren.

De zaken veranderen in februari 1951 door een idee van de Poolse wiskundige Stanislaw Ulam die tijdens de Tweede Wereldoorlog naar Los Alamos is gegaan en daar al die tijd is gebleven. Teller is laaiend enthousiast en werkt het idee uit: de waterstofbom kan worden ontstoken met de röntgenstraling die vrijkomt bij de ontploffing van een atoombom. Het idee is briljant maar tegelijk zo voor de hand liggend dat Bethe ervan overtuigd is dat ook Russische fysici dit principe zullen ontdekken. Het zijn de jaren van de Koreaanse oorlog en veel Amerikanen menen dat de Russische agressie ten koste van alles in bedwang moet worden gehouden. Ook Hans Bethe. Hij gaat alsnog naar Los Alamos en op 8 mei wordt de eerste waterstofbom beproefd. Voor het eerst in de geschiedenis is het

mensen gelukt de energiebron van de zon ook op aarde te ontsteken, helaas met het schandelijke doel andere mensen te vernietigen.

Niels Bohr had gewaarschuwd dat de natuurkunde een internationale wetenschap is die niet door grenzen kan worden ingedamd. Uitvindingen in het Westen worden ook in het Oosten gedaan en hoe gelijk hij had blijkt nu. Andrej Sacharov komt op precies hetzelfde idee als Ulam en de Russische waterstofbom ontploft in 1953. Dan volgt Engeland in 1957, China in 1967 en Frankrijk in 1968.

De wapenwedloop is niet meer te beteugelen.

7 EEN SPEL MET GETALLEN

Weer ging het gesprek over die vreemde getallen die telkens opdoken bij fysisch onderzoek. Wat is het bijzondere van 50 of van 82 of 126? Volgens Maria Göppert kon het geen toeval zijn dat bij allerlei experimenten deze getallen telkens weer te voorschijn kwamen, zoiets moet je kunnen verklaren. Maar hoe?

Enrico Fermi liep op en neer in haar kamer, hardop nadenkend, toen vanaf de gang werd geroepen dat er telefoon voor hem was. Bij de deur aarzelde hij even alsof hij iets wilde zeggen waar hij niet op kon komen. Hij stond nu al half op de gang. 'Zijn er aanwijzingen dat spin-baan koppeling een rol speelt?'
Na tien minuten liep hij terug en hij was nog niet over de drempel toen de vloed van woorden al over hem heen spoelde. Enrico glimlachte terwijl hij de gang weer opliep. 'Morgen, als je minder opgewonden bent, kun je het me uitleggen.'

Waarom kan de één zoveel beter studeren dan de ander, is een vraag die veel ouders zich stellen en waarover psychologen boeken vol hebben geschreven. Het is een vraag waar geen beknopt antwoord op kan worden gegeven, er zijn immers zoveel factoren die de intellectuele ontwikkeling van een kind beïnvloeden. Erfelijkheid, milieu, opvoeding en dan het simpele feit of je als man of als vrouw op de wereld komt. Dit laatste vooral is in onze paternalistische wereld een niet te verwaarlozen factor, maar gelukkig komt daar de laatste jaren een verbetering in.

Het levensverhaal van Maria Göppert is, net als dat van Cecilia Payne, illustratief voor het doorzettingsvermogen dat een meisje moet hebben als ze carrière wil maken in de wereld van de natuurkunde die nog steeds wordt gedomineerd door mannen.

Ze was enig kind van een kinderarts in Katowice, toen nog

een Duitse stad. Nadat haar vader was benoemd tot hoogleraar kindergeneeskunde, verhuisde het gezin naar de beroemde universiteitsstad Göttingen waar haar ouders bevriend raakten met de vooraanstaande natuurkundigen James Franck en Max Born en met de legendarische wiskundige David Hilbert. Dokter Göppert had, zeker voor die tijd, heel vooruitstrevende ideeën over de opvoeding van kinderen. Hij vond dat moeders hun kleuters niet teveel in bescherming moeten nemen, kinderen moeten zich in vrijheid kunnen ontplooien en avonturen kunnen beleven. Deze ideale omstandigheden waren niet weggelegd voor zijn eigen dochtertje dat vaak ziek was en niet veel buiten speelde, maar als het enigszins kon, nam hij haar mee op lange wandelingen in de omgeving. Hij heeft haar altijd voorgehouden dat ze niet de huisvrouw moest worden die altijd thuis blijft om zich dienstbaar te maken voor haar gezin.

In die tijd bereidden alleen jongensscholen hun leerlingen voor op een universitaire studie en daardoor was Göppert gedwongen zijn dochter naar een particuliere school te sturen die helaas failliet ging. Hoewel Maria pas in de één na hoogste klas zat besloot ze toch een poging te wagen op het toelatingsexamen van de universiteit, en met succes.

Ze ging wiskunde studeren, maar nog in dat zelfde jaar haalde Max Born haar over om om te zwaaien naar de theoretische natuurkunde. In dat jaar ook overleed haar vader. Ze was bijzonder aan hem gehecht en kon nauwelijks haar aandacht bij haar studie houden en om uit de depressie te komen besloot ze een half jaar ergens anders heen te gaan. Het werd Cambridge waar ze Rutherford ontmoette en het belangrijkste dat ze in Engeland leerde was, volgens haar eigen zeggen, vloeiend Engels. Die spreekvaardigheid kwam thuis goed van pas toen haar moeder een student op kamers nam. Joe Mayer studeerde scheikunde bij het California Institute of Technology in Pasadena en hij had een beurs gekregen om naar Göttingen te gaan. De rest laat zich raden. Joe en Maria, die het mooiste meisje van Göttingen werd genoemd, trouwden in januari 1930 en kort daarna promoveerde ze op een theoretisch fysisch onderwerp bij Max Born. Een maand later vertrokken ze naar Baltimore waar Joe een baan had gekregen bij het chemisch laboratorium van de John Hopkins University en Maria veranderde de spelling van haar meisjesnaam in

Goeppert zodat de Amerikanen hem konden uitspreken.

Het waren de jaren van de economische depressie met zijn geweldige werkloosheid en formatieplaatsen aan universiteiten waren schaars. Het hoeft dan ook niet te verbazen dat Maria geen aanstelling kon krijgen als wetenschappelijk medewerkster. Toch wilde ze onderzoek doen in de theoretische natuurkunde en dat kan alleen op een instituut waar je de bibliotheek kunt gebruiken en waar je kunt brainstormen met collega's. Onderzoek in de exacte vakken is zo gecompliceerd en de ontwikkelingen gaan zo snel dat je niet in je eentje grensverleggend onderzoek kunt doen. Daarom was Maria tevreden met het secretaresse-baantje dat ze kon krijgen, waarbij het haar taak werd brieven van de heren fysici in het Duits te vertalen. Zelf vond ze het allerbelangrijkste dat ze een bureau kreeg in het fysisch laboratorium, weliswaar ergens op zolder, maar ze kon tenminste aan de slag. Ze heeft het niet vervelend gevonden dat ze geen aanstelling kon krijgen. Haar liefste wens was onderzoek te doen en dat werd op deze manier mogelijk, bovendien hield ze zo voldoende tijd over voor haar twee kinderen.

Toch kun je vraagtekens zetten bij een dergelijk constructie. Door de baan van haar echtgenoot was Maria niet meer vrij te gaan en staan waar ze wilde en je zou kunnen zeggen dat de bestuurders van de universiteit haar in een houdgreep hadden. Ze mocht college geven en dat wilde ze ook graag, maar financieel werd daar niets tegenover gesteld. Het is een situatie die je ook tegenwoordig weer ziet, werkzoekenden gaan vrijwilligerswerk doen en de maatschappij accepteert deze vorm van uitbuiting.

In de negen jaar dat ze in Baltimore woonde is ze verschillende keren teruggegaan naar Göttingen om samen met Born een artikel te schrijven.

In 1939 werd Joe Mayer benoemd tot hoogleraar aan de Columbia University in New York en hoewel de universiteit zijn echtgenote niet meer kon bieden dan een bureau om aan te werken, zijn de Mayers toch verhuisd. Op deze universiteit leerde ze Enrico Fermi kennen en hij suggereerde haar eens te onderzoeken welke chemische eigenschappen de transuranen zouden hebben. Deze elementen komen in de natuur niet voor,

maar men vermoedde dat ze wel zouden kunnen ontstaan bij kernreacties. In 1939 was dit nog theorie want pas twee jaar later werd de eerste transuraan gemaakt door uranium te beschieten met neutronen. Later, toen meerdere transuranen werden gemaakt, bleken hun eigenschappen uitstekend overeen te komen met de eigenschappen die Maria had berekend.

Eind 1941, elf jaar nadat ze haar proefschrift had geschreven, kreeg ze haar eerste betaalde baan, niet als wetenschappelijk medewerkster maar voor enkele uren per week als lerares. Geleidelijk werden de mogelijkheden voor fysici om werk te vinden gunstiger, de Verenigde Staten raakten betrokken bij de Tweede Wereldoorlog en er waren steeds meer natuurkundigen nodig om onderzoek te doen naar nieuwe wapens. In 1942 kreeg ze de leiding over een groep die methodes zocht om uraniumisotopen te scheiden, het zuiveren van uranium was één van de grote problemen die moesten worden opgelost om de atoombom te kunnen maken. Het leek of ze nu eindelijk erkend werd als natuurkundige, maar zelf had ze sterk het gevoel dat ze niet werd ingeschakeld bij het meest belangrijke onderzoek. Ook in haar privé-leven liep niet alles zoals zou moeten. Verschillende keren werd ze voor een operatie in het ziekenhuis opgenomen en minstens zo vervelend was, dat ook Joe geheim onderzoek deed, vaak elders in de Verenigde Staten, waardoor ze elkaar lange tijd niet konden ontmoeten.

In 1946 volgde opnieuw een verhuizing. Joe was benoemd tot hoogleraar in Chicago en weer volgde ze haar echtgenoot hoewel het ditmaal was uitgesloten dat ze een baan zou krijgen. De regels van deze universiteit stonden niet toe dat echtparen in dienst werden genomen, maar voor Maria was dit geen punt. Ze had het geluk dat ze in juli van dat jaar bij het Argonne National Laboratory een halve baan kreeg aangeboden om mee te werken aan de ontwikkeling van een kernreactor en dit was uitstekend te combineren met het onderwijs dat ze onbetaald op de universiteit bleef geven. Op dit laboratorium verzamelden zich fysici die elkaar in Los Alamos hadden leren kennen en die nu gingen zoeken naar vreedzame toepassingen van kernenergie. Ook Edward Teller en Enrico Fermi werkten hier en voor Maria betekende de samenwerking met deze twee mensen het begin van de meest creatieve periode uit haar wetenschappelijke loopbaan.

Teller was geïnteresseerd in een vermoeden van Gamov dat kort na het ontstaan van het heelal alle elementen waren gevormd en dat sindsdien de chemische samenstelling van het heelal nauwelijks meer is veranderd. Deze kosmologische theorie is later niet juist gebleken. Tegenwoordig weten we dat het heelal evolueert en dat de elementen nog steeds worden gemaakt, maar in 1946 was dat nog niet zo duidelijk.

Wanneer je gaat zoeken naar de oorsprong van de elementen is het een logisch begin van zo'n onderzoek te inventariseren welke elementen in het heelal voorkomen en in welke hoeveelheden ze aanwezig zijn. Maria besloot in de literatuur eerst na te gaan wat geologen hadden ontdekt over de chemische samenstelling van de aarde om daarna haar aandacht te richten op de resultaten van het astrofysisch onderzoek van de sterren.

De aardkorst heeft een volstrekt inhomogene chemische samenstelling. De lokale opeenhopingen van elementen zijn een gevolg van de geologische processen die hebben plaatsgevonden sinds de korst van de aarde vast werd. Wanneer we over de chemische samenstelling van de aarde spreken bedoelen we de gemiddelde samenstelling van de gehele aardkorst en dan is overduidelijk dat niet alle elementen evenveel voorkomen. Er is heel veel zuurstof op aarde, terwijl kwik en uranium veel zeldzamer zijn. Dit is een voorbeeld van de algemene regel dat zware elementen zeldzamer zijn dan lichte elementen, maar dit betekent niet dat alle zware elementen even zeldzaam zijn.

Strontium dat in de verf- en vuurwerkindustrie wordt gebruikt is veel minder zeldzaam dan elementen die iets lichter of iets zwaarder zijn. Nu is strontium altijd een mengsel van vier isotopen, die uitsluitend van elkaar verschillen door het aantal neutronen in de kern. Alle vier hebben ze 38 protonen, maar het aantal neutronen is 46, 48, 49 of 50. De isotoop met 50 neutronen komt altijd tien maal zoveel voor als de kernen met 48 en 49 neutronen en zelfs 150 maal zoveel als de isotoop met 46 neutronen. Kennelijk wordt de grote abondantie van strontium veroorzaakt doordat één van zijn isotopen zoveel voorkomt: de strontiumkern met 50 neutronen. Iets dergelijks zien we ook bij het element zirkonium. Het is zwaarder dan stron-

tium en het wordt onder meer gebruikt bij de produktie van slaghoedjes. Zirkonium heeft vijf isotopen waarvan één met 50 neutronen en die komt veel meer voor dan de vier andere. Is dit een toevalligheid of zit er iets diepzinnigs achter?

Maria vermoedde dat het geen toeval was, vooral toen ze ontdekte dat er nog zo'n bijzonder getal bestaat; ook isotopen met 82 neutronen in hun kernen komen veel voor in aardse gesteenten.

Astrofysici hebben van duizenden sterren de chemische samenstelling bepaald en er bestaat een uitgebreide literatuur over dit onderwerp. Toen Maria zich hier in verdiepte ontdekte ze dat ook in sterren de elementen met 50 en 82 neutronen in de kern relatief veel voorkomen en nu was ze er absoluut zeker van dat het geen toeval kon zijn. Ze was iets belangwekkends op het spoor gekomen: de getallen 50 en 82 waren de sleutel waarmee het geheimschrift van de elementen kon worden ontcijferd.

In de geologie en in de astrofysica doken ze op, waren ze soms in de kernfysica bekend? Om deze vraag te kunnen beantwoorden breidde ze haar literatuurstudie uit tot de kernfysica en dit bleek een schot in de roos. Jaren eerder was al ontdekt dat bepaalde getallen bij kernfysische experimenten telkens weer terugkwamen en 50 en 82 waren twee van die getallen. Deze kernen hebben bijzondere eigenschappen, zo zit een kern met 50 neutronen bijvoorbeeld steviger in elkaar dan één met 49 of 51 neutronen. En natuurlijk hadden de kernfysici zich afgevraagd of dit toeval was of dat er iets diepzinnigs achter stak, maar het bleek niet mogelijk een theorie te formuleren die verklaarde de natuur voorkeur had voor die getallen. Omdat het allemaal zo onbegrijpelijk was werden ze de magische getallen genoemd. Het moest allemaal toeval zijn en een zichzelf respecterend kernfysicus hield zich niet bezig met deze getallenmystiek.

Inmiddels had Teller meer interesse gekregen in de ontwikkeling van de waterstofbom dan in een onderzoek naar de oorsprong van het heelal en Maria moest het onderzoek in haar eentje voortzetten. Ze had zich niet eerder in de kernfysica

verdiept en stond daardoor volkomen onbevangen tegenover een idee dat al veel eerder door de kernfysici was verworpen. Haar idee was dat er een overeenkomst bestaat tussen de bouw van de atoomkern en de bouw van het atoom als geheel. Rond de atoomkern bewegen op diverse afstanden groepjes elektronen. Dit schillenmodel van het atoom was in 1913 bedacht door Niels Bohr. In elke schil kan maar een beperkt aantal elektronen bewegen, dan is de schil vol. Atomen met volle schillen hebben bijzondere eigenschappen en we noemen ze de edelgassen. Maria veronderstelde dat de protonen en neutronen in de kern ook in schillen zijn geordend en dat kernen met volle schillen bijzondere eigenschappen hebben. Gevoelsmatig is er wel een probleem. Een kern is te vergelijken met een zakje waarin twee soorten knikkers zitten, de neutronen en protonen. Die knikkers zitten zo dicht tegen elkaar aangedrukt dat ze beslist niet in schillen rond het middelpunt kunnen draaien en dit was de reden dat geen enkele kernfysicus in een schillenmodel voor de atoomkern geloofde.

Hoe meer Maria zich in de kernfysica verdiepte des te meer raakte ze ervan overtuigd dat de magische getallen een realiteit zijn en in 1948 schreef ze een artikel waarin ze de resultaten van haar literatuuronderzoek presenteerde en deze publikatie opende de ogen van de kernfysici. De magische getallen konden geen toeval zijn en daarmee werd dit onderzoeksgebied opnieuw actueel.

Ook Maria zelf ging aan de slag en hoewel ze geen kernfysica had gestudeerd, kon ze zich door haar grote kennis van de quantummechanica toch snel in dit nieuwe gebied inwerken. De elektronen van een atoom bewegen niet alleen in een baan om de kern maar tegelijkertijd draaien ze ook nog als een tolletje in het rond. Dat rondtollen wordt in het jargon van de natuurkunde 'spin' genoemd. De baanbeweging van het elektron en zijn spin beïnvloeden elkaar en het effect ervan kun je onderzoeken met een rekentechniek die spin-baan koppeling wordt genoemd.

'Zijn er aanwijzingen dat spin-baan koppeling een rol speelt?' was de vraag die in het geheugen van Maria een laatje open trok, het laatje met wiskundige instrumenten van de moderne theoretische natuurkunde. Die avond al vertelde ze Joe, dat ze

wist waarom er magische getallen bestaan en in de weken erna kon ze met de theorie van de spin-baan koppeling bewijzen dat de kerndeeltjes in schillen zijn geordend en dat in kernen met volle schillen een magisch aantal neutronen zit. Ze stelde Fermi voor samen een artikel te schrijven, maar hij weigerde. 'Nee. Want ik ben een beroemd man. Als mijn naam erbij staat, zal altijd worden gezegd dat het mijn theorie is en dat is echt niet zo. Het is jouw werk.' Toen haar artikel al naar de Physical Review was gestuurd, hoorde ze dat nog twee Amerikanen een artikel hadden geschreven over de magische getallen en dat ze het ook in de Physical Review wilden publiceren. Welke gevoelens roept zo'n mededeling op? Teleurstelling dat je de eer moet delen, of angst dat die andere theorie beter is dan die van jou? Het zouden volstrekt menselijke reacties zijn. Natuurlijk zelfs, want ook bij wetenschappelijk onderzoek is competitie een sterke drijfveer om de eerste en de beste te zijn.

Maria Goeppert-Mayer was totaal niet eerzuchtig en ze deed wat waarschijnlijk niemand anders zou hebben gedaan. Ze vroeg de redacteur met publikatie van haar artikel te wachten zodat beide artikelen in hetzelfde nummer zouden verschijnen en daardoor is de primeur haar ontgaan. Dat was niet omdat het artikel van haar twee Amerikaanse collega's zo goed was. Zeker niet. Die theorie bleek later zelfs niet juist te zijn, nee het was een Duits fysicus die precies hetzelfde briljante idee had gekregen en zijn artikel naar de Physical Review had gezonden. Wonderlijk toevallig, als Maria niet had gevraagd de publikatie van haar artikel uit te stellen zou het in hetzelfde nummer van de Physical Review zijn gepubliceerd als het artikel van Hans Jensen.

Hans Jensen was hoogleraar theoretische natuurkunde in Heidelberg en omdat hij zich had gespecialiseerd in de kernfysica kende hij de magische getallen. Maar zoals al zijn collega's meende hij dat het gewoon toeval was dat die getallen bij experimenteel onderzoek te voorschijn kwamen. Daar moest je beslist niets achter zoeken, zulke toevalligheden gebeuren nu eenmaal. Hij reageerde dan ook niet erg enthousiast toen Hans Suess en Otto Haxel zijn hulp inriepen bij een merkwaardig probleem.

Hans Suess was een geoloog die de chemische samenstelling

van de aardkorst onderzocht en het was hem opgevallen dat kernen met 50 of 82 neutronen veel voorkomen. Hij realiseerde zich dat je dit niet geologisch moest proberen te verklaren. Dit was beslist geen geologisch probleem, nee naar zijn mening hing dit samen met bijzondere eigenschappen van die kernen. Welke eigenschappen dat zouden kunnen zijn, dat moet je niet aan een geoloog vragen maar aan een kernfysicus. Otto Haxel kon hem niet veel verder helpen. Ja, die getallen herkende hij wel, hij was tenslotte een experimenteel kernfysicus, maar dit leek hem toch meer een probleem voor een theoreticus. En zo kwam het dat Hans Jensen te hulp werd geroepen.

In 1948 ging hij, het was kort na het gesprek met Haxel en Suess, weer eens naar het Institut For Teoretisk Fysik in Kopenhagen. Hij kende de mensen die daar werkten van eerdere bezoeken, maar dat was wel lang geleden. Sinds het uitbreken van de Tweede Wereldoorlog waren de Duitse fysici geïsoleerd geraakt en contacten met buitenlandse vakgenoten waren nauwelijks mogelijk geweest. Het was een verademing om weer hier te zijn en natuurlijk ging hij naar de bibliotheek waar hij zoveel uren had gewerkt. Op de leestafel lagen de tijdschriften die de afgelopen veertien dagen waren binnen gekomen en daar was ook het augustusnummer van de Physical Review. Zoals altijd een veelheid van onderwerpen over bijna alle deelgebieden van de natuurkunde. Ook over de kernfysica. *On closed shells in nuclei* door Maria G. Mayer. De naam zei hem niets, de titel des te meer. Zou het dan toch waar zijn? Het gesprek met Haxel en Suess en nu dit overzicht van alle experimenten waarbij magische getallen een rol spelen. Het moest wel waar zijn! Nog tijdens zijn verblijf in Kopenhagen maakte hij wat berekeningen en hij hield voor de medewerkers en studenten van het instituut een voordracht over de magische getallen en vanzelfsprekend zat ook Niels Bohr in de collegezaal.

Bohr had een uitgesproken mening over de bouw van de atoomkern. Volgens zijn theorie kun je een atoomkern goed vergelijken met een vloeistofdruppel en de deeltjes in de kern met de moleculen in de druppel. In een druppel vloeistof onderscheiden de moleculen zich niet van elkaar, met uitzondering van de deeltjes in de allerbuitenste laag. Die deeltjes worden door alle andere naar binnen getrokken waardoor ze een

vel vormen dat de druppel in model houdt. Dit idee had Bohr toegepast en zijn theorie wordt dan ook het druppelmodel van de atoomkern genoemd. Het was een verbazend goed model dat tal van verschijnselen verklaarde. Met die theorie kon je ook uitrekenen welke zware kernen in brokken kunnen worden gesplitst door botsingen met neutronen waardoor het mogelijk werd de atoombom te maken en later ook kernenergiecentrales. En nu zat Bohr te luisteren naar zijn Duitse gast die totaal andere ideeën had en hij raakte enthousiast voor het schillenmodel. Zo enthousiast dat hij Jensen aanspoorde er zo snel mogelijk iets over te publiceren in een belangrijk Duits tijdschrift. Het antwoord van de redacteur kwam als een koude douche, hij weigerde het artikel te plaatsen. '...dit is geen natuurkunde maar slechts spelen met getallen.' Deze vernietigende beoordeling was volkomen in tegenspraak met de lovende woorden van Bohr en gelukkig hechtte Hans Jensen daar meer waarde aan. Hij zond het manuscript nu naar de redactie van de Physical Review en het werd geplaatst in het nummer dat op 1 juni 1949 uitkwam. Twee weken later, in de Physical Review van 15 juni, werd opnieuw gepubliceerd over de magische getallen. Twee artikelen nog wel en één van de artikelen was geschreven door Maria Goeppert-Mayer.

Het schillenmodel van de atoomkern is praktisch tegelijkertijd door twee mensen gevonden die onafhankelijk van elkaar op hetzelfde idee kwamen. De ontdekkers kenden elkaar niet, zelfs niet van naam. In 1950 is Maria naar Heidelberg gegaan en heeft Hans Jensen ontmoet. Ze zocht hem op in zijn flat boven het instituut. Als zoon van een tuinman had hij de liefde voor de natuur van zijn vader meegekregen en hij heeft altijd zelf de tuin van het instituut onderhouden en in zijn flat kweekte hij schildpadden. Toen werd duidelijk hoeveel deze twee mensen gemeen hadden want Maria kon hem vertellen dat ook haar hobby tuinieren was en dat ze een kas had met orchideeën. Het is een hechte vriendschap geworden en in de jaren daarna hebben ze veel samengewerkt en een boek over de schillenstructuur van de atoomkern geschreven.

Helaas kreeg Maria steeds meer problemen met haar gezondheid, ze werd plotseling doof aan haar linkeroor en kreeg hartklachten die met een pacemaker werden verholpen.

Maar er waren ook plezierige momenten zoals in 1960 toen ze tot haar verrassing werd benoemd tot hoogleraar in de theoretische natuurkunde aan de University of California in San Diego. Deze benoeming deed haar een intens genoegen. En dat was niet vanwege het salaris maar omdat dit haar eerste baan was die ze kreeg op grond van haar eigen wetenschappelijke prestaties en niet omdat ze haar echtgenoot volgde. Ze heeft er weinig plezier aan beleefd want al kort nadat ze waren verhuisd, werd ze getroffen door een beroerte waarvan ze maar gedeeltelijk herstelde. Het praten ging heel moeizaam en haar linkerarm bleef verlamd. De mooiste erkenning van haar wetenschappelijk werk kwam in 1963 door een telefoontje op een vroege ochtend in november. Het was pas vier uur en het was nog donker. De Zweedse journalist aan de andere kant van de lijn had zich niet gerealiseerd hoe groot het tijdsverschil met Californië is, maar dat hinderde niet, hij had fantastisch nieuws, ze had de Nobelprijs gewonnen.
'Is het werkelijk waar? Ik kan het niet geloven. Wat fantastisch, ik heb altijd al een koning willen ontmoeten.'
De reis naar Stockholm en de plechtigheden waren eigenlijk te vermoeiend waardoor ze niet meer zelf de gouden medaille en de oorkonde van de Nobelprijs kon dragen nadat die aan haar waren uitgereikt. 'Tot mijn verbazing was het winnen van de prijs niet half zo opwindend als het doen van het onderzoek. Dat was pas leuk, om te zien dat je theorie werkt.'

Terug in San Diego heeft Maria zo goed en zo kwaad als het ging nog college gegeven en samen met Hans Jensen heeft ze aan haar laatste publikatie gewerkt. In december 1970 kreeg ze hartstoornissen en ze bleef in coma tot haar overlijden in de derde week van februari.

8 GEORGE GAMOV EN MR. C.G.H. TOMPKINS

Het telegram aan kameraad Gessen was niet in goede aarde gevallen. Natuurlijk hadden de ondertekenaars verwacht dat Gessen het sarcasme zou aanvoelen maar ze hadden niet verwacht dat ze zouden worden gestraft wegens anti-revolutionaire aktiviteiten.

Gessen was directeur van het Natuurkundig Laboratorium van de Universiteit van Moskou en hij had voor de nieuwe druk van de Sovjet Encyclopedie die in 1925 verscheen, een artikel geschreven waarin hij het begrip ether behandelde. Hij was een fanatiek partij-ideoloog met een minimale kennis van de natuurkunde. Dit laatste was geen bezwaar geweest, terwijl het eerste ervoor had gepleit hem te benoemen tot directeur van het laboratorium. Studenten erkenden dat hij iets wist van fotografische processen en dat hij deze kennis ook kon toepassen bij het maken van foto's van aantrekkelijke studentes. Dat hij van de moderne natuurkunde geen kaas had gegeten bleek overduidelijk uit het Encyclopedie-artikel.

De ether is een hypothetische stof die in de vorige eeuw was bedacht om de voortplanting van licht te kunnen verklaren. Volgens de relativiteitstheorie van Albert Einstein bestaat de ether helemaal niet en de theorie was dan ook overboord gezet. Althans in het Westen. In marxistisch-ideologische kringen werd de relativiteitstheorie beschouwd als een exces van het kapitalisme en Gessen benadrukte dat het de taak van de Sovjet wetenschap was het bestaan van de ether te bewijzen en de mechanische eigenschappen ervan te onderzoeken.

George Gamov en Lev Landau zaten in de bibliotheek toen een medestudent het pas verschenen deel van de Encyclopedie op tafel legde.

'Moet je dat eens lezen'

Een bulderend gelach was het gevolg en het drietal besloot Gessen te pakken te nemen met het volgende telegram:

'Geïnspireerd door uw artikel over de ether zijn we enthousi-

ast aan de slag gegaan het bestaan te bewijzen. Oude Albert is een idealistische idioot. Onder uw leiding willen we ook gaan zoeken naar de calorie, de warmtestof en de elektrische vloeistof.'

George Gamov werd in 1904 in de Russische stad Odessa geboren en zijn leven is een aaneenschakeling geweest van avonturen en bizarre gebeurtenissen. Door de turbulente gebeurtenissen in de eerste jaren van deze eeuw is hij nauwelijks naar school gegaan maar toch liet hij zich in 1922 inschrijven bij de Novorossia Universiteit in Odessa. Eigenlijk was onderwijs daar nog nauwelijks mogelijk, zo kort na de Eerste Wereldoorlog en de revolutie. Veel stafleden waren niet teruggekeerd en universteitsgebouwen waren beschadigd. De wiskundecolleges werden zo goed en zo kwaad als het ging toch gegeven. Helaas waren ze vaak in de avonduren ingeroosterd terwijl de stroom regelmatig uitviel. Colleges natuurkunde waren er zelfs helemaal niet omdat de directeur van het Fysisch Laboratorium om principiële redenen weigerde college te geven zolang hij geen amanuensis had om de demonstratie-experimenten voor te bereiden, er even niet aan denkend dat die amanuensis door de afwezigheid van apparatuur toch geen proeven had kunnen doen. George Gamov had snel gezien dat hij hier niet moest blijven en hij besloot naar Leningrad te gaan waar een vriend van zijn vader hoogleraar was in de meteorologie. Bovendien leverde hem dit een baantje op. Door drie maal daags de instrumenten in de weerhut af te lezen kon hij, in een tijd dat de studiefinanciering nog niet was uitgevonden, in zijn onderhoud voorzien. Het werd steeds duidelijker dat hij grote aanleg had voor de theoretische natuurkunde en toen hij zijn werkgever vertelde dat hij meteorologie niet als hoofdvak wilde kiezen, betekende dat meteen het einde van het dienstverband. De volgende baan die hij kreeg was die van leraar natuurkunde aan de militaire academie. Geheel probleemloos ging dit overigens niet omdat uitsluitend militairen daar mochten doceren. Maar dit probleem werd ingenieus opgelost, door Gamov een militaire rang te geven waarvan het salaris even hoog was als het salaris van leraar. George Gamov, kolonel in het Rode Leger. Vijfentwintig jaar later zou hij de Amerikaanse inlichtingendienst een verklaring schuldig zijn.

In Leningrad studeerde Gamov bij twee opmerkelijke geleerden, beiden wiskundigen. De één bewonderde Einstein's relativiteitstheorie terwijl de ander hem belachelijk maakte.

Alexander Friedmann had een wiskundige onvolkomenheid ontdekt in de oplossing van een vergelijking, die door Einstein over het hoofd was gezien. De fysische interpretatie hiervan was heel belangwekkend. Ging Einstein er nog van uit dat het heelal statisch was, Friedmann liet zien dat de relativiteitstheorie juist dynamische heelalmodellen voorspelt. Een heelal dat uitdijt, inkrimpt of misschien wel pulseert. Naast dit zeer abstracte kosmologische onderzoek deed hij atmosferische waarnemingen vanuit ballonnen. Tijdens één zo'n vlucht liep hij een forse verkoudheid op die zich tot een ernstige longontsteking ontwikkelde waaraan hij is overleden.

Alexei Krylov was een heel andere persoonlijkheid. Als wiskundige was hij opgeklommen tot admiraal van de Russische marine. Deze merkwaardige carrière had hij onder meer te danken aan zijn onderzoek naar de bewegingen van oorlogsschepen. Inzicht in het stampen en slingeren is van vitaal belang om het geschut te kunnen richten. Hij was een zeeman in hart en nieren geworden en had zich ook het daarbij horende taalgebruik eigen gemaakt. Terug op de universiteit kon hij zich slechts met de grootste moeite parlementair uitdrukken. Zoals in die tijd gebruikelijk, waren aan het mathematisch instituut uitsluitend mannelijke medewerkers verbonden en de enige vrouw die de stafvergaderingen bijwoonde was zijn secretaresse. Daar was hij zich van bewust en als de discussie wat feller werd, waarschuwde hij: 'Marivanovna, stop je vingers in je oren, ik wil iets zeggen.' En dan volgde een heel duidelijke mededeling. Krylov begreep weinig van de relativiteitstheorie en probeerde zijn onkunde achter onzinnige verhalen te verbergen. 'Met die theorie kan ik zelfs de afstand tot de hemel berekenen', zei hij tegen Gamov. 'Tijdens de oorlog met Japan werd in alle kerken gebeden om de Japanners te straffen. Dat ging met lichtsnelheid naar God. In 1923, dat is achttien jaar later, had je die aardbeving in Tokio. Dus de hemel is negen lichtjaar van ons af.'

Door het overlijden van Friedmann heeft Gamov zich niet langer met de relativiteitstheorie en de kosmologie bezig

gehouden. Die andere ontwikkeling van de natuurkunde, de quantummechanica, kreeg zijn belangstelling. Na zijn promotie mocht hij naar Göttingen gaan en toen ontdekte hij het tunneleffect. Dit wordt tegenwoordig als de eerste grote triomf van de quantummechanica gezien en eigenlijk had hij er de Nobelprijs voor moeten krijgen.

Tot voor kort waren Russen er nooit zeker van of ze toestemming kregen het kapitalistische Westen te bezoeken en in 1928 was dat beleid grillig en onvoorspelbaar. George Gamov heeft ieder bezoek aan West-Europa uitgebuit door zoveel mogelijk landen te bezoeken. Hij had natuurlijk het grote voordeel dat hij, een briljant jong natuurkundige, op de Instituten voor Theoretische Natuurkunde van harte welkom was en dat gold in het bijzonder voor het Institut For Teoretisk Fysik in Kopenhagen.

George Gamov wilde die beroemde Deen ontmoeten. Bohr kende hem niet en hij wist ook niet dat Gamov het tunneleffect had ontdekt want het artikel was nog niet gepubliceerd, maar toen Gamov erover vertelde begreep Bohr meteen hoe fundamenteel het was en hij bood hem aan een jaar bij hem te komen werken.

In 1930 bood Bohr hem opnieuw een studiebeurs aan om kernfysisch onderzoek te doen en opnieuw kreeg hij toestemming Rusland te verlaten. Maar het politieke klimaat in Rusland was aan het veranderen en Gamov merkte dat, toen hij op de ambassade in Kopenhagen zijn visum wilde verlengen om een congres in Rome te kunnen bijwonen. De ambassadeur zou Moskou toestemming vragen en Gamov moest volgende week maar even komen horen. Die toestemming kwam dus niet.

'Maar dat hoeft geen probleem te zijn. Meldt u zich op het ministerie in Moskou en tegen de tijd van het congres ontvangt u het visum.'

Dat dit een illusie was bleek bij terugkeer. Vrienden vonden het onbegrijpelijk dat hij was teruggekomen.

'Weet je dan niet wat hier allemaal is gebeurd? Je kunt nauwelijks meer publiceren. De onzekerheidsrelatie van Heisenberg is volgens het Kremlin een anti-marxistische theorie.'

Dat dit geen loos alarm was bleek al heel snel toen hij werd uitgenodigd om voor de universitaire gemeenschap een popu-

lair wetenschappelijke lezing te houden over de ideeën van Werner Heisenberg. Deze Duitse fysicus had gevonden dat het op atomair niveau onmogelijk is om alle eigenschappen van een deeltje goed te kennen, er blijft altijd een principiële onzekerheid in onze kennis. Als je zijn snelheid heel precies bepaalt, dan ben je niet zeker waar het deeltje zich bevindt en omgekeerd. Hij was nog maar net met zijn verhaal begonnen toen een partij-filosoof uit zijn gehoor hem interrumpeerde en wartaal begon uit te slaan. Maar het resultaat was wel dat de zaal werd ontruimd en de spreker kreeg later een officiële reprimande van de universiteit.

George Gamov had tot dan toe nooit overwogen de Sovjet Unie te verlaten, hij was er geboren en voelde er zich thuis en hij realiseerde zich heel goed dat emigratie naar een land met een andere cultuur een grote stap is. Nu hij geen toestemming meer kreeg naar het Westen te reizen om zijn vak bij te houden, veranderde zijn mening, bovendien vond hij het volstrekt ontoelaatbaar dat de politiek zich met de wetenschap bemoeide. Hij had niet terug moeten komen, maar dat was achteraf praten. De vraag was nu of het mogelijk was naar het buitenland te reizen. Maar hoe? Nu een visum aanvragen was zinloos en illegaal de grens overgaan in de buurt van Leningrad leek uitgesloten, de stranden aan de Finse Golf werden zwaar bewaakt en 's nachts baadden ze in een zee van licht. Waren de kansen aan de zuidelijke grens soms beter? Van het meest zuidelijke puntje van de Krim over de Zwarte Zee naar Turkije was een afstand van ongeveer 250 kilometer. Met een boot moest dat mogelijk zijn. George Gamov was net getrouwd en dit leek een ideale huwelijksreis. Nu was de vrijheid van de Russen ook in eigen land heel beperkt. In een vakantieoord aan zee een kamer huren, behoorde niet tot de mogelijkheden terwijl een boot huren volstrekt uitgesloten was. Er moest dus het één en ander worden georganiseerd.

Vlak bij Jalta was een vakantiehuis van de universiteit en Gamov kon daar naar toe en bovendien had hij toestemming gekregen om een nieuw model opvouwbare kajak op zee te testen. Toen dit was geregeld, moest voor een dag of zes voedsel worden gehamsterd; zolang zou de overtocht naar schatting duren. Het plan was pal zuidwaarts te koersen en dan de

Turkse politie ervan zien te overtuigen dat ze Denen waren. Hij meende dat dit wel zou lukken als hij zijn Deense rijbewijs liet zien. Vanuit de Deense ambassade wilde hij vervolgens Niels Bohr bellen om de situatie uit te leggen.

Op een prachtige zomerochtend in 1932 begon de tocht, de zee was glad als een spiegel en de achterblijvers dachten dat de huwelijksreis naar een sterrenwacht ging die een aantal kilometers verder op een hoge klif lag. Ze zouden de volgende dag terugkomen.

De eerste dag verliep uitstekend en toen de zon aan de westelijke hemel onderging, kwam de volle maan als een grote ballon boven de oostelijke horizon te hangen. Het werd die nacht nauwelijks donker en daardoor konden ze de bruinvissen zien die vlak naast de boot urenlang meezwommen. De afspraak was dat ze 's nachts om beurten zouden peddelen en slapen, maar door de vermoeidheid en misschien ook door de buitenlucht vielen ze allebei in slaap. De volgende ochtend was de zee veel minder rustig en de oostelijke wind die de golven witte koppen gaf, wakkerde in de loop van de middag aan tot een storm. In de tweede nacht ruimde de wind en ze werden teruggeblazen. De tocht eindigde op het strand, honderd kilometer westelijk van Jalta.

In zijn beoordelingsrapport schreef Gamov dat de kajak op een niet te ruwe zee uitstekend voldeed.

Geheel onverwacht kreeg hij het jaar daarop een brief van het ministerie met de verrassende mededeling dat hij als de officiële vertegenwoordiger van de regering de Solvay conferentie in Brussel kon bijwonen. Deze conferentie, die om de drie jaar wordt gehouden, is genoemd naar de Belgische industrieel Ernest Solvay die in 1911 de eerste conferentie organiseerde en financierde. De conferentie van oktober 1933 zou aan de kernfysica gewijd zijn en alles was al geregeld, enige dagen voor vertrek konden de reispapieren worden afgehaald.

Wat een krankzinnige ommezwaai in het beleid van de heren in het Kremlin. Voor Gamov zat hier geen enkele logica achter, voor Niels Bohr wel. Die had zich bezorgd gemaakt over het lot van Gamov en had daarom de bekende Franse geleerde Paul Langevin ingeschakeld. Langevin was voorzitter van de Frans-Russische commissie ter bevordering van weten-

schappelijke samenwerking en bovendien zat hij in het organiserend comité van de Solvay conferentie. Gebruikelijk is dat deelnemers aan deze conferentie een uitnodiging ontvangen, maar Langevin week van deze gewoonte af en verzocht Moskou om Gamov als officiële Sovjet gedeputeerde te zenden. En het werkte. De hoofdpersoon was vanzelfsprekend niet op de hoogte van de gang van zaken.

Gamov ondertussen, voelde er weinig voor zonder zijn echtgenote op stap te gaan en hij besloot een alles of niets spel te spelen. Kort daarvoor had hij in Moskou een voordracht gehouden over kernfusie in sterren en na afloop had hij met een partijbons gesproken over mogelijke vreedzame toepassingen van kernenergie. Hij zocht deze man op en verzocht hem in verband met de conferentie, een onderhoud te regelen met de president van de Sovjet Unie. Na een formeel begin vertelde Gamov openhartig het eigenlijke doel van het gesprek.
'Ik zou graag mijn echtgenote mee nemen.'
'Kunt u werkelijk geen twee weken buiten elkaar?'
'Natuurlijk', reageerde Gamov, 'zou ik u nu kunnen vertellen dat ze ook natuurkundige is en dat ze tijdens de conferentie mijn secretaresse kan zijn. Maar zo is het niet. Ze is nog nooit in het buitenland geweest en ik wil haar graag Brussel en Parijs laten zien.'
Het onverwachte gebeurde.
'Ik denk dat het niet onmogelijk is dit te regelen.'

Nog tijdens het congres onderzocht Gamov de mogelijkheden ergens een aanstelling te krijgen als wetenschappelijk medewerker. In 1932 was hij door de University of Michigan uitgenodigd een serie colleges te geven tijdens een zomerschool voor jonge fysici, maar toen had hij geen toestemming gekregen dat aanbod te accepteren. Zouden ze binnenkort weer zoiets organiseren? Per kerende post werd hij uitgenodigd in de daaropvolgende zomer naar Michigan te komen. De wintermaanden moest hij met een andere baan zien te overbruggen, misschien dat Bohr een studiebeurs voor hem kon organiseren.
'Maar Gamov dat kun je niet doen', was de reactie van Bohr, 'je behoort terug te gaan naar Rusland.'
En toen hoorde hij hoe de vork in de steel zat.
'Je moet terug gaan. Langevin deed het op mijn verzoek en op die manier breng je hem in diskrediet.'

Paul Langevin was een man met een prachtige staat van dienst, niet alleen op wetenschappelijk gebied maar ook maatschappelijk. Hij was lid van diverse organisaties die slachtoffers van het fascisme steunden en hij was actief in de vredesbeweging. Het was zijn overtuiging dat wetenschappelijke samenwerking er toe kan bijdragen meer begrip voor elkaar te krijgen en een vlucht van Gamov zou zijn geloofwaardigheid misschien geen goed doen.

George Gamov stond voor een groot dilemma. Hij begreep de gedachtengang van Bohr heel goed maar, zo hield hij zichzelf voor, voor het paspoort van mijn echtgenote heb ik toch zelf gezorgd. Tijdens een diner vertelde hij Madame Curie over dit gewetensconflict: moet ik terug gaan of zal ik me er niets van aantrekken?
'Goed', was haar reactie, 'morgen zal ik het er met Langevin over hebben.'
Die dag duurde eindeloos lang en toen ze eindelijk vertelde dat Langevin vond dat hij zelf moest beslissen, viel een last van zijn schouders.

In de herfst van 1934 werd hij gevraagd hoogleraar te worden aan de George Washington University in Washington, D.C. Op zich natuurlijk een bijzonder vleiend verzoek, toch hield hij een slag om de arm. Hij wilde het aanbod accepteren mits tegelijk met hem nog een ander theoretisch natuurkundige zou worden benoemd en zijn gedachten gingen daarbij uit naar de Hongaar Edward Teller. Een financieel probleem dat hij nog moest oplossen, waren de reiskosten voor hemzelf en zijn echtgenote. De universiteit ging accoord met zijn voorstel en benoemde ook Teller tot hoogleraar terwijl Rutherford en Bohr hem geld leenden voor de overtocht.

Gamov had Rusland voorgoed verlaten.

Een jaar later organiseerden Gamov en Teller de conferentie over de energieproduktie in sterren; de conferentie die Hans Bethe op het idee bracht dat er behalve via de proton-proton reeks nog op een andere manier helium moet kunnen ontstaan.

Hoe stimulerend een wetenschappelijke conferentie kan zijn bleek in de zomer van 1939. Gamov zat boordevol ideeën

over mogelijke fusieprocessen in sterren en hij kwam hierover te praten tijdens zijn vakantie in Brazilië. Het was eigenlijk puur toeval dat hij Mario Schoenberg ontmoette en het was nog op een merkwaardige plaats ook. Beide mannen keken hun ogen uit in het Casino da Urca. Ongelooflijk hoe snel de spelers hier hun geld kwijt raakten! Ze raakten in gesprek en de jonge Braziliaan bleek theoretische natuurkunde te hebben gestudeerd. Hij raakte enthousiast door alle ideeën van Gamov en nam met beide handen het aanbod aan een jaar in Washington te komen werken. Wàt een uitdaging om in de Verenigde Staten astrofysisch onderzoek te gaan doen! Het werd een succesvol verblijf want ze kwamen op het spoor van een tot dan onbekend mechanisme.

Als in het inwendige van een ster de dichtheid toeneemt, moet het mogelijk zijn dat elektronen die vrij rondlopen, in atoomkernen worden geperst. Binnenin de kern ontmoet het elektron een proton waardoor een neutron en een neutrino worden gevormd. Die kern raakt dus een proton kwijt en dat betekent dat een nieuw element is ontstaan. Het neutrino kan niet in de kern blijven en wordt naar buiten gewerkt. Het vliegt ongehinderd dwars door de ster en verdwijnt in de ruimte, de ster verliest hierdoor energie. Nu kan zich de situatie voordoen dat de pas ontstane kern instabiel is omdat hij een neutron teveel heeft. Het neutron zet zichzelf dan om in een proton en ook daarbij ontstaat opnieuw een neutrino. Het verrassende is nu dat we de oorspronkelijke kern weer terug hebben. Immers, een proton werd omgezet in een neutron en dit neutron veranderde weer in een proton. Er lijkt dus weinig gebeurd te zijn, maar vergeet niet dat de ster twee neutrino's is kwijtgeraakt die energie hebben meegenomen. En wat belangrijk is, als dit mechanisme eenmaal is gestart, dan is er geen rem en de ster verliest in korte tijd een enorme hoeveelheid energie. Dit alles gebeurt in het centrum van de ster waar de dichtheid de grootste waarde heeft. Daar verdwijnt energie, daar koelt de ster dus af en daar wordt de druk dus minder. Het lot van de ster is nu bezegeld en hij stort in met een onvoorstelbaar geweld. De lichtflits die bij deze catastrofale gebeurtenis zichtbaar wordt, noemen we een supernova. Het opmerkelijke van dit proces is de snelheid waarmee alles gebeurt. Evolutieprocessen duren over het algemeen heel lang,

tijdschalen van tientallen miljoenen en zelfs miljarden jaren zijn gebruikelijk, maar door dit proces raakt de ster in enkele dagen een groot deel van zijn energie kwijt. Ongelooflijk hoe snel het gaat, het lijkt wel of de ster roulette speelt.

In hun artikel schrijven ze dat ze dit mechanisme het URCA-proces noemen, heel terloops alsof het een voor de hand liggende naam is. Tot hun grote verbazing heeft nooit iemand naar de betekenis van dit woord gevraagd, hoewel URCA-processen een belangrijke rol spelen in de moderne astrofysica.

Kernfusie is alleen mogelijk als de temperatuur voldoende hoog is en dat is zeker niet het geval aan de buitenkant van sterren. De elementen die daar aanwezig zijn, kunnen niet ter plaatse door fusiereacties zijn ontstaan, net zo min als de elementen waaruit de aarde en ook wijzelf zijn opgebouwd. Eerder in de geschiedenis van het heelal moeten deze elementen zijn gevormd en het is George Gamov's idee geweest dat dit al heel spoedig na het ontstaan van het heelal moet zijn gebeurd.

Uit waarnemingen van sterrenstelsels blijkt dat het heelal uitdijt, dat het groter wordt. In het verleden was het dus kleiner en er moet een moment zijn geweest dat alle materie in één punt opeengepakt zat. Dichtheid en temperatuur waren gigantisch hoog en toen is er iets gebeurd dat we de Big Bang noemen, het heelal begon de ruimte te scheppen waarin het kon uitdijen. Dat moment, nu vijftien miljard jaar geleden, noemen we het begin van het heelal. Gamov veronderstelde dat het heelal in de eerste fractie van een seconde uit neutronen bestond waaruit vervolgens protonen en elektronen werden gevormd. Doordat de neutronen zich aan de protonen hechtten, werden zwaardere elementen gemaakt. In 1948 schreef hij samen met zijn student Ralph Alpher een 'Letter', dat is een artikel dat niet meer dan 600 woorden mag bevatten en dat dus op één bladzijde kan worden gedrukt, en hij stuurde dit naar de redactie van de Physical Review. De bedoeling van zo'n 'Letter' is om nieuwe ideeën of ontdekkingen binnen enkele weken te kunnen publiceren. Door de grote tijdsdruk krijgt een auteur geen drukproef te corrigeren en de uiteindelijke vorm waarin zijn stukje verschijnt is dan ook een verrassing. Het artikeltje van Gamov en Alpher had de titel *The Origin of Chemical Elements* met daaronder de namen van drie auteurs: R.A. Alpher, H. Bethe en G. Gamov en bovenaan de bladzijde stond de verschijningsdatum van dit nummer van de Physical Review, 1 april 1948. Nu was Gamov verbaasd, zes weken eerder wist Bethe niet wat hij zag.

Het was niet toevallig dat het artikel over de eerste minuten van het heelal geschreven was door auteurs waarvan de namen beginnen met de eerste drie letters van het Griekse alfabet. Gamov had er, toen hij het artikel instuurde, de naam van Hans Bethe zonder diens medeweten bijgeschreven. De Amerikanen spreken Bethe's naam uit zoals wij in het Nederlands de Griekse beta uitspreken en Gamov heeft een zachte g zoals de Griekse gamma. Een artikel dat de oorsprong van ons bestaan beschrijft, geschreven door natuurkundigen die alfa, beta en gamma heten. Kan het nog symbolischer? Omdat Hans Bethe part noch deel had aan dit onderzoek, had Gamov 'in absentia' achter diens naam gezet. Nu is het gebruikelijk dat de redactie een manuscript ter beoordeling naar een deskundige stuurt. Deze referent leest het artikel en beslist of het, eventueel nadat wijzigingen zijn aangebracht, wordt geplaatst. Het is niet bekend op welke referent de redactie een beroep doet en een auteur krijgt de naam van de referent van zijn artikel ook nooit te horen. Gamov kon dan ook niet vermoeden dat zijn artikel op het bureau van Hans Bethe was terecht gekomen die, het kan niet anders, sprakeloos was toen hij zijn eigen naam las. Nu kende hij het gevoel voor humor van Gamov en hij besloot de grap mee te spelen en omdat hij het een goed artikel vond dat hij best zelf had willen schrijven, streepte hij het 'in absentia' weg. De redactie ontving het artikel op 17 februari en in die tijd was het gebruikelijk dat een 'Letter' na ongeveer vijf weken in druk verscheen, het is best mogelijk dat Bethe ervoor heeft gezorgd dat het precies het 1 april nummer werd.

Tijdens de oorlogsjaren heeft Gamov onderzoek gedaan naar de voortplanting van de schokgolven die ontstaan bij de explosie van conventionele wapens; vanwege zijn Russische afkomst mocht hij niet meewerken aan het Manhattan project. In 1948 kreeg hij 'top security clearance' en toen president Truman in

1950 de Atomic Energy Commission opdracht gaf de waterstofbom te maken kon Teller hem uitnodigen naar Los Alamos te komen.

Op veel Amerikaanse universiteiten hebben hoogleraren om de zoveel jaar recht op een 'sabbatical year'. Dit betekent dat ze een jaar lang geen onderwijs hoeven te geven en ook geen bestuurlijke verplichtingen hebben, zodat ze zich volledig op hun wetenschappelijk werk kunnen concentreren. Vaak wordt een sabbatical year gebruikt om andere instellingen voor wetenschappelijk onderzoek te bezoeken om op die manier contacten te leggen en nieuwe inspiratie op te doen. In 1950 werkte George Gamov tijdens zijn sabbatical year aan de ontwikkeling van de waterstofbom. Het waren de jaren dat de communisten-hater Joseph McCarthy alles en iedereen beschuldigde van communistische sympathieën en op deze manier een vijandsbeeld creëerde dat jarenlang een betere verstandhouding met de Russen heeft geblokkeerd. In een heksenjacht die enkele jaren duurde, werden bijna vijf miljoen Amerikanen ondervraagd, ook George Gamov. Hij was al vier maanden in Los Alamos toen hij er even tussenuit wilde voor een korte vakantie in Californië en na een lange rit vond hij een motel vlak aan zee. Bezweet en moe verlangde hij naar een duik in het water van de Stille Oceaan. Hij trok snel zijn zwempak aan en waadde door de branding toen hij zijn naam hoorde roepen. Op de rotsen stonden drie mannen waarvan één zo te zien de eigenaar van het motel was, de anderen kende hij niet. Kennelijk zochten ze hem, hadden ze een boodschap, was er iets met zijn vrouw? Ze lieten hun legitimatiebewijzen zien; de één was veiligheidsofficier van de Atomic Energy Commission en de ander een agent van de F.B.I. Of hij maar mee wilde komen, nee, hij kon zich niet afdrogen en aankleden, daar was geen tijd voor, ze hadden al te veel tijd verloren met naar hem te zoeken. Hij moest ogenblikkelijk dr. Bradbury bellen, het hoofd van het laboratorium in Los Alamos.
'Sorry George, dat ik je stoor, vanavond wil ik je hier nog spreken. Dan kan ik je meer vertellen en als je opschiet kun je het laatste vliegtuig uit Los Angeles nog halen.'
In het kantoor van Bradbury was ook Captain Smith aanwezig, hoofd afdeling beveiliging.
'Morgen is er een hoorzitting in Washington waar senator

McCarthy de beveiliging in Los Alamos aan de orde zal stellen en met name zal hij vragen of het bekend is dat jij in buitenlandse militaire dienst bent geweest. Hier is een vragenlijst en ik wil dat je daarop nu antwoord geeft. Ben je in enig ander land in militaire dienst geweest?'
'Ja dat ben ik.'
Vier ogen staarden hem aan.
'Ik ben kolonel geweest bij de Russische artillerie.'
Doodse stilte. Bradbury die zich afvroeg wat voor gedonder dit zou geven, Smith die aan zijn carrière dacht.
'Luister, toen ik nog in Leningrad studeerde...'
Gamov kon goed een verhaal vertellen en binnen de kortste tijd werd een fles opengetrokken en werden herinneringen opgehaald.

McCarthy haalde bakzeil en George Gamov behield zijn 'top security clearance'.

George Gamov was niet alleen een uitstekend astrofysicus die grensverleggend onderzoek heeft gedaan, hij kon ook als geen ander zijn vak populariseren en dat is een combinatie die uiterst zeldzaam is. In 1937 schreef hij zijn eerste verhaal over Mr. C.G.H. Tompkins, een wat naïeve bankbediende die belangstelling heeft voor de natuurwetenschappen. Zijn voorletters zijn niet toevallig zo gekozen, het zijn de symbolen voor drie belangrijke natuurconstanten: de lichtsnelheid, de gravitatieconstante en de constante van Planck.

Meneer Tompkins woont in een klein universiteitsstadje en leest een aankondiging dat een professor een serie lezingen zal houden over problemen in de moderne natuurkunde. Het onderwerp voor die middag is de relativiteitstheorie van Einstein. Meneer Tompkins had wel eens horen zeggen dat maar twaalf mensen op de hele wereld die theorie begrijpen en misschien kan hij de dertiende worden als hij naar die lezing gaat. De collegezaal is vol en het is er warm en hij wordt doezelig en valt in slaap en dan droomt hij dat hij in een wereld komt waarin de natuurconstanten een andere waarde hebben dan bij ons, waardoor allerlei quantummechanische- en relativistische effecten in het dagelijks leven zichtbaar worden. Hierdoor gebeuren krankzinnige dingen die door de professor, die telkens weer opduikt, natuurkundig worden verklaard. Het was een

probeersel van Gamov en hij stuurde het manuscript naar diverse tijdschriften, maar zonder succes en hij borg het artikel maar in een lade van zijn bureau, niet precies wetend wat hij er mee zou doen. Het jaar daarop ging hij naar een conferentie in Warschau waar hij onder andere Bohr, Eddington en Langevin ontmoette en ook Charles Darwin, de kleinzoon van de beroemde Darwin.

Tijdens zulke ontmoetingen gaan de gesprekken natuurlijk vaak over het onderzoek waar je mee bezig bent en over je publikaties en zo kwam het dat Gamov vertelde dat hij had geprobeerd iets leuks te schrijven over de relativiteitstheorie en de quantummechanica. De reacties waren verschillend. Bohr vond zulke gefantaseerde verhalen niet geschikt om de natuurkunde te populariseren, de werkelijkheid werd teveel vertekend, maar Darwin raakte enthousiast.

'Als je het manuscript nog kan vinden, moet je het eens naar C.P. Snow sturen. Hij schrijft zelf ook populair-wetenschappelijke stukjes en hij is redacteur van het tijdschrift Discovery dat in Engeland door de Cambridge University Press wordt uitgegeven.'

Binnen een week kwam een telegram.

'Uw artikel wordt in volgende nummer geplaatst. Stuur meer. Snow.'

En zo is Mr. C.G.H. Tompkins beroemd geworden.

In 1944 werden de verhalen gebundeld en uitgegeven. *Mr. Tompkins in Wonderland* beleefde zestien herdrukken en werd in de meeste Europese talen vertaald en zelfs in het Hindi en Chinees, maar in Rusland is het nooit verschenen. In 1956 kreeg George Gamov voor zijn boeken een prijs die de UNESCO had uitgeloofd voor het populariseren van de natuurwetenschappen.

In 1954 heeft Mr. Tompkins nog éénmaal geprobeerd in het nieuws te komen, een jaar nadat de Engelse biochemici Watson en Crick de bouw van het DNA-molecule ontrafelden.

DNA heeft de structuur van een dubbele spiraal die door vier verschillende moleculen wordt verbonden alsof het de treden van een wenteltrap zijn. Het DNA-molecule vormt het bouwmateriaal voor onze genen en regelt de synthese van eiwitten. Er bestaan onnoemelijk veel verschillende eiwitmoleculen die echter allemaal zijn opgebouwd uit slechts twintig verschillende aminozuren.

Gamov las het artikel van Watson en Crick en vroeg zich af hoe vier verschillende moleculen de volgordes van twintig aminozuren kunnen coderen. Hij heeft het probleem wiskundig aangepakt en een heel oorspronkelijke bijdrage geleverd aan een vakgebied waarin hij een volslagen onbekende was. Het artikel dat hij hierover schreef kreeg de titel *Protein Synthesis by DNA Molecules* en de auteurs waren G. Gamov en C.G.H.Tompkins. Maar meneer Tompkins was toen al zo bekend dat ook de referent van het tijdschrift hem kende en die ging er niet mee accoord dat hij als mede-auteur werd genoemd.

9 B KWADRAAT FH

Het was kort na de Tweede Wereldoorlog, op een avond in 1946 in een Engelse bioscoop. Tijdens de oorlogsjaren hadden ze alle drie voor de Britse defensie aan de ontwikkeling van de radar gewerkt en nu waren ze terug in Cambridge.

De film 'Dead of Night' was weinig spectaculair geweest, maar hij had wel een boeiende compositie. Het waren vier o-genschijnlijk losse verhalen die telkens weer door flash-backs in elkaar werden geweven alsof het leven een cirkel was die eindeloos werd doorlopen. De film eindigde dan ook zoals hij was begonnen. 'Zou het heelal ook zo'n structuur hebben waardoor alles altijd hetzelfde blijft?' Fred Hoyle en Hermann Bondi lachten om dit volstrekt onverwachte idee van Tommy Gold. Niet alleen was het verband met de film onduidelijk, maar ook zijn voorstelling van het heelal klopte niet met de werkelijkheid. Het heelal expandeert en wordt groter en ijler en het verandert daardoor voortdurend. Maar dat bedoelde Gold ook niet met zijn opmerking. Onveranderlijk is niet het-zelfde als onbeweeglijk. Een stromende rivier is een dyna-misch systeem dat toch onveranderlijk is omdat de aanvoer van het water precies even groot is als de afvoer. En zou zoiets ook niet in het heelal kunnen gebeuren? Kunnen de wegsnel-lende melkwegstelsels niet worden aangevuld door nieuwe waardoor het heelal als geheel in een onveranderlijke toestand verkeert, in een steady state?

Als dit model juist is, dan worden precies genoeg nieuwe waterstofatomen geschapen om de gemiddelde dichtheid con-stant te houden en tegelijk met die nieuwe deeltjes ontstaat ook de ruimte die ze innemen waardoor de al aanwezige ruim-te naar alle kanten wordt weggeduwd en wij zien dat als de uit-dijing van het heelal. Dit scheppingsproces is dan al oneindig lang bezig en zal nooit ophouden. Een Steady-State heelal heeft geen begin en ook geen einde, het is er altijd geweest en het zal altijd in dezelfde toestand blijven bestaan.

Het lijkt een bizarre gedachte, maar in wezen is de theorie van de Steady-State, waarbij de materie van het heelal geleidelijk uit niets ontstaat, even begrijpelijk of onbegrijpelijk als de theorie van de Big Bang waarbij alle materie tegelijkertijd ontstond in een onmeetbaar klein volume.

Het idee van Gold is heel serieus genomen door de astrofysici en het is een stimulans geweest voor talrijke onderzoekingen, want het doen van waarnemingen is de enige manier om er achter te komen in wat voor een heelal we leven.

Sinds 1965 weten we dat Gold's idee de werkelijkheid niet goed beschrijft want in dat jaar hebben radioastronomen de straling ontdekt waarmee het heelal kort na de Big Bang was gevuld. Niet het felle licht van weleer, maar het gedimde licht van die gigantische explosie waarmee alles vijftien miljard jaar geleden is begonnen.

Omstreeks 1950 was Fred Hoyle één van de meest fanatieke aanhangers van de Steady-State theorie en hij realiseerde zich dat als er geen Big Bang is geweest waarbij de elementen ontstonden, de elementen op een andere manier moeten zijn gemaakt.

Aan het vóórkomen van waterstof hoef je geen aandacht te schenken, dat is het postulaat van de theorie, maar dat hieruit wel alle andere atoomkernen kunnen ontstaan, moet worden bewezen. De enige plaats waar de temperatuur voldoende hoog is voor fusie, is in het inwendige van sterren. Zo resulteerde de Steady-State theorie van het heelal in een theorie die het ontstaan van de elementen verklaart uit een veelheid van reacties in het inwendige van zware sterren, die hun evolutie afsluiten met een catastrofale explosie waarbij de pas gevormde elementen de ruimte worden ingeblazen. Dan volgt een recycling van dit materiaal waarbij nieuwe sterren ontstaan, generatie na generatie, met telkens een andere chemische samenstelling.

Synthesis of the Elements in Stars is misschien wel het belangrijkste astrofysische artikel dat ooit is geschreven en hoewel het meer dan dertig jaar geleden werd gepubliceerd zijn in de loop der jaren slechts details aan het onderzoek toegevoegd. De kwaliteit van het artikel weerspiegelt de kwaliteit van de vier auteurs: Margaret Burbidge, Geoffrey Burbidge, William Fowler en Fred Hoyle, een viertal dat beroemd is

geworden als B²FH.

Margaret Burbidge werd in 1925 in de Engelse plaats Davenport geboren en ze studeerde sterrenkunde in Londen. Haar echtgenoot Geoffrey begon zijn wetenschappelijke loopbaan als theoretisch fysicus maar specialiseerde zich later in de astrofysica. De forse, nonchalant geklede Geoffrey is een heel ander type dan zijn tengere, charmante vrouw. In 1955 kreeg Geoffrey een beurs om op de Mount Wilson sterrenwacht in Californië te gaan werken. En hoe gaat het in onze maatschappij? Margaret volgde haar echtgenoot, hoewel ze slechts een ondergeschikt baantje kon krijgen bij Caltech, het California Institute of Technology én hoewel ze zich realiseerde dat ze op Mount Wilson geen waarnemingen zou mogen doen. Gelukkig is deze discriminerende maatregel inmiddels opgeheven en kunnen tegenwoordig op Amerikaanse sterrenwachten ook vrouwen 's nachts werken.

In 1960 werd Margaret benoemd tot hoogleraar in San Diego en in het najaar van 1973 volgde de benoeming tot directeur van het Royal Greenwich Observatory in Herstmonceux. De eerste vrouwelijke directeur van de belangrijkste Britse sterrenwacht. Maar ze kreeg spijt van haar remigratie, na zoveel jaren wonen en werken in de Verenigde Staten kon ze niet meer aarden in Engeland en ze ging terug naar Californië.

Margaret Burbidge heeft zichzelf nooit als een 'vrouwelijk' astronoom willen zien, maar als een astronoom die uitsluitend beoordeeld wil worden op de kwaliteit van haar wetenschappelijke prestaties. Ze vindt dat haar sekse daar geen rol bij mag spelen, maar positieve discriminatie is haast niet te vermijden en dit ontlokte Geoffrey de uitspraak: 'Als de Burbidges iets doen en het wordt gewaardeerd, dan wordt aangenomen dat Margaret het heeft gedaan. Als het niet op prijs wordt gesteld, dan gaan ze er van uit dat ik het heb gedaan.'

Margaret heeft diverse onderscheidingen gekregen voor haar wetenschappelijk werk en één daarvan heeft ze om principiële redenen geweigerd. De American Astronomical Society kende haar in 1971 de Annie J. Cannon prijs toe, een prijs die uitsluitend door vrouwen kan worden ontvangen. En dat laatste was precies de reden dat ze voor de eer bedankte. Actief bezig zijn in de vrouwenemancipatie en dan gehuldigd worden omdat je

een vrouw bent, gaan nu eenmaal niet samen, was haar mening.

William Fowler is van huis uit een kernfysicus die zich al sinds 1946 bezig houdt met onderzoek naar het ontstaan van de elementen. Hij werd in 1911 geboren in Pittsburg in het oosten van de Verenigde Staten maar hij voltooide zijn studie aan Caltech in Californië en daar is hij altijd gebleven.

In het kernfysisch laboratorium van Caltech werd kort voor de Tweede Wereldoorlog onderzoek gedaan naar de bouw van lichte atoomkernen. De elementen koolstof en stikstof werden beschoten met protonen die een grote snelheid hadden gekregen. Uit de brokstukken die bij dergelijke botsingen ontstaan, kunnen conclusies worden getrokken over de inwendige bouw van de kernen. De keuze van juist deze elementen voor het onderzoek van de fysici in Californië was op zuiver technische gronden gemaakt. Pas door de publikatie van Hans Bethe in 1939, waarin hij bewees dat de CNO cyclus voor de energievoorziening in sterren zorgt, werd hen duidelijk hoe belangrijk hun onderzoek was voor de sterrenkunde. Doordat Amerika betrokken raakte bij de Tweede Wereldoorlog, moest dit onderzoek worden beëindigd en de medewerkers van het kernfysisch laboratorium gingen zich bezig houden met de ontwikkeling van raketten voor de marine.

In 1946 werd het kernfysisch onderzoek weer opgepakt en door de stimulans van Ira Bowen besloten de fysici zich helemaal te concentreren op astrofysisch belangrijke kernreacties. Bowen was juist benoemd tot directeur van de Mount Wilson sterrenwacht en organiseerde bij hem thuis een serie informele bijeenkomsten met sterrenkundigen en kernfysici. Onder het genot van een pilsje werden problemen van wederzijds belang besproken. De kernfysici van Caltech sloegen een weg in die buitengewoon succesvol bleek te zijn. Vooral William Fowler is een produktief onderzoeker geworden. Hij heeft meer dan tweehonderd wetenschappelijke artikelen geschreven en veel van die artikelen begint hij met een toepasselijk literair citaat. Samen met Fred Hoyle onderzocht hij bijvoorbeeld de energieverliezen die neutrino's veroorzaken in URCA-processen. De titel van het artikel die de inhoud goed dekt, is: *Nucleosynthesis in massive stars and supernovae*, maar de ondertitel,

gekozen uit een gedicht van T.S. Eliot, is minstens zo suggestief. *O dark dark dark. They all go into the dark. The vacant interstellar spaces, the vacant into the vacant.*

Fred Hoyle is een eigenzinnig man die talloze malen in conflict is gekomen met collega's en instanties. De reden is dat hij heel precies weet wat hij wil en weinig genegen is voorzichtig te manouvreren om door middel van compromissen zijn doel te bereiken. Als kind al heeft hem dit parten gespeeld. Van zijn jaren op de lagere school, toen lijfstraffen nog deel uitmaakten van de pedagogische bagage van de leerkrachten, herinnert hij zich zijn voortdurende pogingen tikken met het rietje te ontlopen. Een discussie over het aantal meeldraden in een bloem was voor de onderwijzer reden de negenjarige Fred een klap te geven waarop de leerling opstapte en niet meer is teruggekomen. Zijn moeder steunde haar zoon en heeft hem thuis gehouden en in het jaar daarop in een ander dorp op school gedaan.

Fred Hoyle is in Cambridge theoretische natuurkunde gaan studeren. Hier ontmoette hij de hoogleraren R.H. Fowler, niet te verwarren met de Amerikaan William Fowler, en de beroemde Eddington. Ook toen waren er hoogleraren die niet uitblonken door de kwaliteit van hun onderwijs. Eddington's colleges waren saai en slecht. Bij zijn colleges over de relativiteitstheorie gebruikte hij zijn eigen boek waaruit hij de formules overschreef op het bord. Hij was ook geen goed spreker, hij aarzelde vaak en maakte zijn zinnen niet af waardoor hij een onzekere en verlegen indruk maakte. Merkwaardig is dat de lezingen die hij regelmatig gaf, juist heel boeiend waren. Die bereidde hij veel beter voor dan zijn colleges, kennelijk had hij daar meer plezier in.

R.H. Fowler had nauwelijks contact met studenten, hij had zich teruggetrokken in zijn kamer. Zijn kamer was een onneembaar fort geworden. Na een klop op de deur opende hij die op een kier en stak zijn hand naar buiten waar studenten hun werk instopten. Van achter de barricade klonk dan even later een grommend: 'Uitstekend, maar maak nog meer opgaven.' Dan ging de deur weer dicht. Naast de colleges moesten de doctoraalstudenten ook een literatuurstudie doen waarbij onder leiding van een medewerker een artikel werd besproken. In

het eerste jaar na zijn kandidaatsexamen koos Fred Hoyle een artikel dat later beroemd is geworden als *De bijbel van Bethe*. Deze keus is van grote invloed geweest op zijn latere werk dat vaak kernfysisch georiënteerd is.

In 1938 werd hij secretaris van een studieclub van ouderejaarsstudenten. Het gezelschap kwam éénmaal in de veertien dagen bijeen om naar een spreker te luisteren die door de secretaris was uitgenodigd. Op advies van de voorzitter vroeg Hoyle de astrofysicus Ray Lyttleton een voordracht te houden over zijn onderzoek naar het ontstaan van planetenstelsels. Lyttleton meende dat een formule die Eddington had afgeleid niet geheel juist was en hij wist Hoyle voor het probleem te interesseren en samen hebben ze erover gepubliceerd. Fred Hoyle was van de theoretische natuurkunde omgezwaaid naar de astrofysica.

Heel globaal kun je bij wetenschappelijk onderzoek twee stromingen onderscheiden. Er is een 'degelijke' richting die weinig opwindend, maar heel nuttig werk doet dat vaak generaties later nog van waarde blijkt te zijn. Tot deze stroming behoren bijvoorbeeld veel onderzoekers van dubbelsterren. Door jaar na jaar de posities van de dubbelstercomponenten op te meten met behulp van standaardmethodes, is het mogelijk de massa's van de twee sterren te bepalen. Op deze manier is gevonden dat iedere witte dwerg een massa heeft die kleiner is dan 1,4 maal de massa van de zon, waarmee de juistheid van Chandrasekhar's theorie werd bewezen. Zonder de volharding van de dubbelsterwaarnemers zou dit belangrijke resultaat nooit zijn gevonden.

En dan is er de 'wilde' stroming die met onverwachte ideeën komt die nog niet tot in detail zijn uitgewerkt en die soms na enkele jaren al weer zijn vergeten. Fred Hoyle is een uitgesproken representant van deze laatste groep. Veel van zijn ideeën zijn zo speculatief dat je nauwelijks kunt geloven dat ze juist zijn en dat wekt nogal eens irritaties bij collega's, maar Hoyle presenteert zijn argumenten glashelder en ogenschijnlijk onweerlegbaar.

Creatieve wetenschappers zoals Hoyle leveren, hoewel hun theorieën soms geen stand houden, toch een belangrijke bijdrage aan het wetenschappelijk onderzoek. Bij de beoordeling

van de kwaliteit van een publikatie is de vraag of de gepresenteerde theorie juist is, niet altijd te beantwoorden en ook niet altijd relevant. Of een publikatie anderen op ideeën brengt en stimuleert tot het doen van verder onderzoek, dát is waar het om gaat. En dit laatste hebben Hoyle's publikaties zeker gedaan.

Behalve wetenschappelijke artikelen heeft hij een veelheid van andere publikaties in tal van genres op zijn naam staan. Populair-wetenschappelijk, science fiction, een toneelstuk en zelfs het libretto van een opera. *The Black Cloud* dat hij in 1957 publiceerde is zijn bekendste boek. De zwarte wolk is een buitenaardse levensvorm die door astronomen wordt ontdekt en die tot hun ontzetting het leven op aarde bedreigt.

Buitenaards leven is ook een regelmatig terugkerend thema in Hoyle's wetenschappelijk werk. Hij heeft de theorie ontwikkeld dat het leven niet op aarde is ontstaan, maar in de ruimte tussen de sterren en dat het zich daar in primitieve vorm handhaaft op de ontelbare kometen die in de buitenste regionen van ons planetenstelsel zwerven. Doordat lang geleden een komeet op de aarde is terechtgekomen of vlak langs de aarde passeerde, heeft het leven zich op aarde kunnen vestigen. Hoyle meent dat dit proces ook tegenwoordig nog plaatsvindt als een komeet dicht in de buurt van de aarde komt. Het telkens weer terugkeren van griepepidemieën verklaart hij uit de aanvoer van nieuwe virussen door kometen.

Kort voor de Tweede Wereldoorlog leek het probleem van de energievoorziening van sterren grotendeels opgelost. Sterren bestaan bijna geheel uit waterstof en zetten dit door kernfusiereacties om in helium, de energie die daarbij vrijkomt is voldoende om ze miljarden jaren lang te laten stralen. Het leek niet mogelijk dat ook helium nog kon fuseren tot zwaardere elementen.

Maar waarom waren de astrofysici er zo zeker van dat helium het eindprodukt van de fusiereacties in sterren moest zijn? Dit is eenvoudig in te zien als je onderzoekt welke kernen kunnen fuseren.

Oorspronkelijk bestaat de ster bijna helemaal uit waterstof en hieruit ontstaat helium. Daarna zijn er twee mogelijkheden denkbaar: één heliumkern fuseert met een overgebleven wa-

terstofkern of twee heliumkernen fuseren met elkaar.

Wanneer een waterstofkern in een heliumkern dringt verwacht je een nieuwe kern die uit vijf deeltjes is opgebouwd. Deze conclusie is het resultaat van de optelsom dat één en vier samen vijf is, want een waterstofkern is niets anders dan een proton en een heliumkern bestaat uit twee protonen en twee neutronen. Nu doet zich het merkwaardige verschijnsel voor dat een kern van vijf deeltjes niet kan bestaan waardoor deze fusie is uitgesloten.

De mogelijkheid die overblijft is de fusie van twee heliumkernen tot een kern die uit acht deeltjes is samengesteld, vier protonen en vier neutronen. Ook dit is niet probleemloos. Een kern met vier protonen is een isotoop van beryllium en de isotoop met vier neutronen is buitengewoon instabiel, zodra hij ontstaat valt hij weer in twee heliumkernen uiteen. Dit alles was al in 1939 bekend en deed Hans Bethe concluderen dat in sterren geen elementen zwaarder dan helium kunnen ontstaan. Dat ze er toch zijn, betekende volgens hem dat ze kort na de Big Bang moeten zijn gemaakt.

Voor Fred Hoyle was dit scenario niet acceptabel om de simpele reden dat hij meende dat er geen Big Bang was geweest en hij moest daarom zien aan te tonen dat in sterren de heliumkernen wel kunnen fuseren. En dat is hem gelukt met een heel eenvoudige gedachtengang, maar dat is juist het kenmerk van een geniale vondst.

Het uitgangspunt van zijn redenering was het gegeven dat in de natuur veel koolstof voorkomt en dan vooral de isotoop met zes protonen en zes neutronen. Deze kern is op te vatten als een combinatie van drie heliumkernen. Als deze kern is ontstaan door fusie, betekent het dat de fusie van beryllium met helium mogelijk moet zijn in de onnoemelijk korte tijd dat de berylliumkern bestaat.

Een kernfusiereactie is een botsing waarbij de deeltjes in elkaar dringen en met elkaar versmelten. Nu is het niet zo dat elke botsing van twee kernen ook een fusie is. Integendeel, meestal botsen de kernen als biljartballen tegen elkaar en gebeurt er verder niets. Omdat de berylliumkern gedurende zijn korte leven maar weinig kans heeft een heliumkern tegen te komen, moet elke botsing tussen die twee kernen wel tot fusie leiden om te kunnen verklaren dat er zoveel koolstof is.

Volgens Fred Hoyle kan dat alleen als de koolstofkern een bijzondere bouw heeft. De protonen en neutronen in atoomkernen zijn in schillen gerangschikt en Hoyle voorspelde dat in de rangschikking in de koolstofkern een open plaats moet zijn die de fusie vergemakkelijkt. Op het moment van de botsing, wanneer de twee kernen even tegen elkaar liggen, heb je alle ingrediënten om koolstof te maken. De deeltjes rollen dan in de open plaats, ze kunnen niet meer terug en de fusie is een feit. Met dit idee kwam hij in 1953 bij het kernfysisch laboratorium van Caltech waar William Fowler werkte. Zijn idee over de bouw van de koolstofkern werd met de nodige scepsis ontvangen omdat die kern grondig was onderzocht en daarbij was die open plaats niet gevonden. Bovendien had Hoyle in de ogen van de kernfysici geen sterke argumenten. Toch wist hij enkele van de medewerkers zover te krijgen dat ze een nieuwe serie experimenten gingen opzetten om de koolstofkern nogmaals te bestuderen. Toen werd de open plaats gevonden en hij lag precies daar waar Hoyle hem had voorspeld.

Helium en beryllium kunnen tot koolstof fuseren door een toevalligheid in de bouw van de koolstofkern. Nu is bekend dat een kern van zuurstof, die je opgebouwd kunt denken uit vier heliumkernen, nagenoeg hetzelfde bouwplan heeft als de koolstofkern. Ook in de zuurstofkern zit een open plaats in de rangschikking van de deeltjes. Als beryllium en helium gemakkelijk fuseren tot koolstof, fuseren koolstof en helium dan net zo gemakkelijk tot zuurstof? Als dat zo is, dan wordt koolstof zodra het ontstaat omgezet in zuurstof en dan zou er in het heelal meer zuurstof dan koolstof moeten zijn. Nu is dit laatste niet waar, dus de redenering gaat niet op. Hoyle trok hieruit de conclusie dat zuurstof en koolstof toch niet precies dezelfde bouw hebben waardoor die open plaats in de zuurstofkern niet bereikbaar is voor de heliumkernen. Ook dit vermoeden is door experimenteel onderzoek bevestigd.

In 1954 is William Fowler een jaar naar Cambridge gegaan en heeft daar samen met Hoyle de basis gelegd voor de theorie die het ontstaan van de elementen verklaart. Het artikel van B²FH is een doorbraak geweest in dit onderzoek. Het is een lang en technisch artikel waarin wordt aangetoond dat fusie een mes

is dat aan twee kanten snijdt, het proces levert de energie die de ster uitstraalt en tegelijkertijd ontstaan nieuwe elementen.

Door kernfysische processen binnenin een ster verandert daar ter plekke de chemische samenstelling, aan de buitenkant verandert niets. Toch heeft de buitenkant van sterren een buitengewoon gevarieerde chemische samenstelling. Fusieprocessen alleen zijn dus niet voldoende om te verklaren hoe de chemische samenstelling van het heelal de afgelopen vijftien miljard jaar is veranderd. De levensloop van sterren, van hun geboorte uit donkere stofwolken tot hun dood door zelfvernietiging, is de leidraad in het verhaal van de elementen.

Overal in de ruimte zweven donkere ijle wolken van minuscule stofjes. Ze zijn zo koud dat ze geen licht uitstralen, we zien ze als schaduwen tegen de heldere achtergrond van verre sterren. De meeste wolken hebben onwaarschijnlijk grillige vormen, maar er zijn ook bolvormige wolken gevonden. Uiterst kleine, donkere vlekjes op een foto. Ze worden globules genoemd en ze zijn ontdekt door de Amerikaanse studente Edith Reilly.

Edith kwam in 1946 naar de Harvard sterrenwacht waar ze voor Shapley zou gaan werken, maar het bleek nagenoeg onmogelijk om geschikt werk voor haar te vinden want ze was zwaar gehandicapt. Ze had multiple sclerose, een ongeneeslijke ziekte van het zenuwstelsel waardoor ze niet meer kon lopen. De ziekte was in een vergevorderd stadium, ook het schrijven en spreken ging heel moeilijk. In die tijd werkte Bart Bok nog op Harvard en ze vroeg hem of hij niet een idee had voor een onderzoekje. Bok onderzocht de eigenschappen van de stofwolken in ons melkwegstelsel: waar komen de stofwolken voor, hoe groot zijn ze en wat is hun temperatuur, waren enkele van de vragen die hij wilde beantwoorden. Bij dit onderzoek moesten vele honderden foto's worden bestudeerd en extra hulp was welkom, maar er ontstond wel een probleem als Edith zou worden ingeschakeld. Sterrenkundigen gebruiken bij het fotograferen geen film, maar een glazen plaat die de drager van de emulsie is. Dit lijkt ouderwets, maar voor precisiemetingen heeft het toch grote voordelen. Helaas is het dunne glas heel kwetsbaar en het was onverantwoord Edith er

mee te laten werken, de coördinatie van haar bewegingen was zo slecht dat ze platen zou breken en zich zou snijden aan de scherpe randen.

Bart Bok durfde niet te zeggen dat hij eigenlijk niets zinvols wist. 'Ik zal er over na denken.' Thuis besprak hij het met zijn echtgenote Priscilla, die ook sterrenkunde had gestudeerd en ze kwamen op het idee Edith te vragen die grillig gevormde donkere wolken te classificeren en daarbij zou ze gebruik kunnen maken van afdrukken van foto's die in tijdschriften en boeken te vinden waren. Classificeren wil zeggen: bekijk de foto's goed en probeer de vormen te rangschikken in de hoop dat er een systematiek is. Al eerder was dit door anderen zonder veel resultaat gedaan, het was dan ook uit medelijden dat hij Edith dit onderzoek toch maar liet doen.

Een bron van zorg van elke fotograaf zijn de bijna onvermijdelijke beschadigingen van zijn negatieven. Vaak zijn dat krassen die ontstaan doordat slordig met het materiaal wordt omgesprongen, maar ook tijdens het ontwikkelen kunnen beschadigingen ontstaan. Vooral berucht zijn de kleine luchtbelletjes die zich tijdens het ontwikkelen op het negatief hechten en die voorkómen dat op die plaats ontwikkelaar in de emulsie dringt. Dit veroorzaakt een klein transparant vlekje op het negatief en dus een donker rondje op de afdruk. Deze zwarte speldeknop-achtige vlekjes moeten door eerdere onderzoekers zijn opgemerkt, maar er is nooit aandacht aan geschonken. Ook Edith vond ze, maar zij wist Bart Bok ervan te overtuigen dat het geen ontwikkelfouten waren. In de ruimte tussen de sterren zweven bolvormige stofwolken die zo dicht zijn dat ze zwart afsteken tegen een heldere achtergrond. Bart vertelde het thuis, tijdens het eten aan Priscilla terwijl hij melk in een glas schonk. Op de melk dreven een paar kleine bolletjes vet, 'butter globules' noemen de Amerikanen ze en zij hebben hun naam gegeven aan de donkere wolken die als kleine ronde vlekjes zichtbaar zijn op de foto's.

Bart Bok heeft deze ontdekking meteen beschreven in het artikel *Small Dark Nebulae* en hij vermeldde Edith Reilly als mede-auteur. Wat begonnen was als liefdadigheid eindigde met de belangwekkende ontdekking dat sterren hun leven beginnen als een globule. Edith heeft nog meegemaakt dat haar ont-

dekking werd gepubliceerd en ze heeft er intens van genoten. Drie jaar later is ze overleden.

Een globule is geen ster en het is geen wolk, het is een ster die wordt geboren. Wanneer een stofwolk zich door de werking van de zwaartekracht gaat samentrekken, krijgt hij al spoedig een bolvormig uiterlijk, al het materiaal valt immers naar binnen. In het centrum van de globule wordt de dichtheid groter en de temperatuur hoger en dit proces gaat door zolang de zwaartekracht zijn spel kan spelen. Tegenwoordig zijn talloze globules bekend en het is gelukt hun temperatuur te meten en die blijkt inderdaad hoger te zijn dan die van de donkere wolken die geen ronde vorm hebben. Toch is het nog ijzig koud in een globule, maar naarmate meer materiaal naar binnen beweegt, stijgt de temperatuur. Tenslotte wordt de temperatuur zo hoog dat waterstof gaat fuseren tot helium. Plotseling komt dan een enorme hoeveelheid warmte vrij die de gasdruk zover opvoert dat het samentrekken van de globule wordt beeindigd. Er is een nieuwe ster ontstaan. Dit geboorteproces heeft enkele honderdduizenden jaren geduurd. Zolang de zwaartekracht in evenwicht is met de gasdruk leidt de ster een onopvallend bestaan. Maar het is een heel delicaat evenwicht, er hoeft maar iets te gebeuren of de machtsstrijd tussen zwaartekracht en gasdruk ontbrandt opnieuw.

Miljoenen jaren lang wordt waterstof omgezet in helium, maar eens moet hier een eind aan komen. In het leven van iedere ster komt een moment dat er geen waterstof meer is, dan stopt de energieproduktie en de kachel gaat uit. De gasdruk wordt dan kleiner terwijl de zwaartekracht even groot blijft en het gevolg is dat de ster instort. Even lijkt de machtsstrijd in het voordeel van de zwaartekracht te zijn beslist, maar deze fase in het leven van de ster duurt niet lang. De dichtheid en de temperatuur in het centrum stijgen tot zo'n hoge waarde dat helium gaat fuseren tot koolstof. De warmte die daarbij vrijkomt zorgt er voor dat de druk van het gas weer toeneemt. Wat dan gebeurt hangt af van de massa van de ster. Een lichte ster zoals de zon kan de plotselinge druktoename niet verwerken, er is te weinig massa om de klap op te vangen en hij ontploft.
Als de massa van de ster voldoende groot is, breekt opnieuw

een rustige periode aan waarin kernfusie voor de energie zorgt die de ster uitstraalt. Nu fuseert helium tot koolstof, maar eens zal alle koolstof op zijn en dan herhaalt de geschiedenis zich. De ster stort in, de temperatuur stijgt en een nieuwe fusiereactie kan beginnen. En om een lang verhaal kort te maken: als de massa van de ster voldoende groot is zal in het centrum van de ster een nieuwe fusiereactie kunnen beginnen. Het leven van zware sterren bestaat uit een opeenvolging van korte periodes waarin de zwaartekracht domineert, gevolgd door langere tijdvakken van rust waarin elementen worden gemaakt. Iedere keer als een nieuwe fusiereactie begint, breekt een kritieke fase aan voor de ster: kan hij de klap opvangen of ontploft hij? En iedere keer beslist de massa van de ster.

Zware sterren maken deze kritieke fase talloze malen door en telkens wordt de temperatuur in het inwendige hoger. In zware sterren die ver zijn geëvolueerd, fuseren allerlei elementen met elkaar waarbij nieuwe kernen ontstaan. Door de krachtige botsingen tussen de kernen vliegen de stukken er letterlijk van af waardoor neutronen vrijkomen die op hun beurt weer door andere kernen worden gevangen. Ook op deze manier maakt de ster nieuwe elementen en dat gaat lange tijd heel gemakkelijk. De ene isotoop na de andere wordt gemaakt totdat er een magisch aantal neutronen in de kern zit, dan kan er niet zo gemakkelijk nog een neutron bij. Daarom komen kernen met een magisch aantal neutronen zoveel voor in het heelal. Naarmate de ster ouder wordt, fuseren steeds zwaardere kernen met elkaar, maar dit kan niet onbeperkt doorgaan. De natuur heeft zichzelf een beperking opgelegd door een grens te trekken bij ijzer. Elementen die zwaarder zijn dan ijzer kunnen niet door fusie worden gemaakt, die zijn ontstaan door botsingen met neutronen.

Wanneer in de allerzwaarste sterren, helemaal in het centrum ijzer is ontstaan probeert de zwaartekracht nog éénmaal de machtsstrijd in zijn voordeel te beslissen. Het is zijn laatste poging, die rampzalige gevolgen heeft.

Al vele malen eerder kwam een einde aan een fusiereactie omdat de brandstof op was. De zwaartekracht perste de ster dan samen waardoor de temperatuur steeg zodat een nieuwe fusie kon beginnen. Maar nu is de situatie anders, de ster wordt wel samengeperst en de temperatuur loopt op, maar

ijzer kan niet fuseren. Het centrale deel van de ster is een bal ijzer geworden met een temperatuur van tien miljard graden. De straling is nu zo intens dat ook delen van de ster buiten de ijzeren bal heter worden en daar kunnen wel nieuwe fusiereacties beginnen. In dat gebied loopt de temperatuur dan binnen enkele seconden zo hoog op dat de gasdruk het definitief wint van de zwaartekracht, de ster detoneert en vernietigt zichzelf. De lichtflits van de ontploffing noemen we een supernova, het is de meest catastrofale gebeurtenis die we kennen.

Door de explosie worden de elementen, die in de loop van vele jaren in het inwendige van de ster zijn gemaakt, de ruimte ingeblazen. Het zal heel lang duren, maar eens zullen uit dit materiaal nieuwe globules ontstaan waaruit weer sterren worden geboren. Het is een gigantisch recycling-proces waardoor in het heelal steeds meer lichte elementen worden omgezet in zware. De sterren die sinds het ontstaan van het heelal zijn ontploft omdat in hun centrum ijzer was ontstaan, hebben vorm gegeven aan het heelal en hebben het mogelijk gemaakt dat het leven ontstond.

10 EEN HEELAL VAN GEMISTE KANSEN

De relativiteitstheorie is één van de grootste intellectuele prestaties van de twintigste eeuw en het meest opmerkelijke is dat deze theorie het geesteskind is van één man, Albert Einstein. De theorie, die de eigenschappen van ruimte en tijd beschrijft, heeft onze ideeën over deze fysische grootheden fundamenteel gewijzigd. De resultaten waren zo onverwacht en gingen zo in tegen ieders voorstellingsvermogen dat de Nobelprijscommissie het nooit heeft aangedurfd Einstein er voor te huldigen. De Nobelprijs van 1921 kreeg hij voor een heel andere ontdekking. Ruimte en tijd zijn de ingrediënten die de astrofysicus gebruikt om een model van het heelal te maken en deze grootheden spelen in elke beschrijving van het heelal een belangrijke rol. Is de tijd er altijd geweest en welke vorm heeft de welving van de ruimte, zijn vragen die de astrofysicus probeert te beantwoorden.

Pas sinds 1965, bijna een halve eeuw nadat Einstein zijn ideeën publiceerde, weten we dat ons heelal een begin heeft gehad. Achteraf is het heel verbazingwekkend dat dit zo lang heeft geduurd want talloze astrofysici hadden het antwoord al veel eerder binnen handbereik.

Een heelal dat niet verandert, noemen we een statisch heelal. Als we hierin leven zijn ruimte en tijd er altijd geweest, dan was er geen begin en zal er ook geen einde komen. Op kleine schaal kunnen in een statisch heelal wel veranderingen optreden, maar het heelal als geheel evolueert niet. Het ziet er altijd precies hetzelfde uit.

'Statisch' wil niet zeggen 'onbeweeglijk'. Ook het Steady-State model van Bondi, Gold en Hoyle is een heelal dat niet verandert. Omdat het uitdijt moet de materie die in de verte verdwijnt worden aangevuld. Wanneer gemiddeld eens in de driehonderdduizend jaar in één kubieke meter lege ruimte één waterstofatoom ontstaat, is dat al voldoende om de dichtheid

van het heelal op peil te houden.

Het Big-Bang heelal is niet statisch, het heeft een begin en evolueert waardoor het er nu anders uitziet dan kort nadat het ontstond. Het is onmogelijk op theoretische gronden te beslissen in wat voor soort heelal we leven, alleen waarnemingen kunnen uitsluitsel geven.

Rond 1915, toen Einstein de algemene relativiteitstheorie opstelde, was over de bouw van het heelal nog weinig bekend. Een Amerikaans astronoom had weliswaar ontdekt dat enkele wazige vlekjes aan de hemel zich met grote snelheid van ons verwijderen, maar het was volstrekt onduidelijk wat voor objecten dit waren en op welke afstand ze zich bevonden. Bovendien was deze waarneming alleen in kleine kring bekend geworden.

Einstein meende dat het heelal statisch moest zijn. Waarom hij hier van uitging, weten we niet, wellicht is het niet meer geweest dan intuïtie. Nu is intuïtie een machtig hulpmiddel bij wetenschappelijk onderzoek, maar intuïtie bewijst niets, het kan je alleen op een spoor zetten. Een goed spoor of een doodlopende weg. En dit laatste werd het.

Bij het ontwikkelen van een theorie is het altijd noodzakelijk een aantal aannames te maken die je niet kunt bewijzen, maar waarvan je hoopt dat ze later theoretisch of experimenteel zullen worden geverifieerd. Die veronderstellingen berusten op een vermoeden, op de intuïtie van de onderzoeker. Einstein kwam op het idee de vergelijkingen van de relativiteitstheorie te gaan veranderen door er een getal aan toe te voegen. Wiskundig was dit volkomen correct. Heel vaak introduceert de fysicus door zijn wiskundige operaties een constante, die eventueel de waarde nul kan hebben. Einstein stelde dus dat de constante niet gelijk was aan nul en hij interpreteerde dit getal als een mysterieuze afstotende kracht die op grote afstand de werking van de zwaartekracht teniet deed. De materie in het heelal heeft, door de onderlinge aantrekking, de neiging op één hoop te vallen, maar de afstotende kracht zou dit precies compenseren. Hiermee kon Einstein dus aantonen dat het heelal statisch is, maar hij moest wel aannemen dat er een nog onbekende afstotende kracht bestond.

Was hij er maar niet van uitgegaan dat het heelal statisch is, dan had hij beslist die constante niet ingevoerd. Zonder twijfel was hij dan op het idee gekomen dat ook een expansie kan voorkómen dat de zwaartekracht alles ineen doet storten. Jaren voordat astronomen het hadden waargenomen, zou hij in dat geval theoretisch hebben aangetoond dat het heelal uitdijt.

In 1922 ontdekte Alexander Friedmann, de leermeester van George Gamov, dat er geen reden is die afstotende kracht te introduceren en hij liet zien dat je met de relativiteitstheorie de uitdijing van het heelal kunt voorspellen. Hij publiceerde dit in 1922 in een Duits tijdschrift. Einstein reageerde enkele maanden later met een heel kort artikeltje in hetzelfde tijdschrift. In niet meer dan elf regels kraakte hij het resultaat van Friedmann af en mogelijk hierdoor is Friedmann's resultaat volledig vergeten. Deze Russische natuurkundige kreeg niet de kans nog tijdens zijn leven beroemd te worden door zijn kosmologisch onderzoek.

Doordat het werk van Friedmann onbekend is gebleven kon de Belgische priester George Lemaître de theorie in 1927 opnieuw ontdekken. Maar ook het werk van Lemaître bleef onopgemerkt.

Lemaître was na zijn studie bij Eddington benoemd tot hoogleraar in Leuven en hij publiceerde zijn ontdekking in de 'Annales de la Société Scientifique de Bruxelles', een Franstalig periodiek dat elders nauwelijks bekend was. Hij had zich dat niet gerealiseerd en was dan ook sprakeloos toen hij de notulen las van de vergadering van de Royal Astronomical Society van 10 januari 1930.

Tijdens die bijeenkomst had de Leidse astrofysicus De Sitter een dia vertoond van een plaatje dat we tegenwoordig het Hubble-diagram noemen. Edwin Hubble was er in geslaagd de afstanden van de wegijlende stelsels te meten en hij had een grafiek gemaakt waarin hij de afstand uitzette tegen de snelheid. Het verrassende van deze grafiek is zijn eenvoud. De snelheid waarmee de stelsels zich van ons verwijderen is evenredig met hun afstand en daarmee toonde Hubble aan dat het heelal uitdijt. Het is één van de meest sensationele ontdekkingen van de sterrenkunde geweest. Na afloop van De Sitter's

voordracht merkte Eddington op dat het toch wel merkwaardig was dat de relativiteitstheorie deze uitdijing niet voorspelde. En dat komt, had hij er aan toegevoegd, omdat iedereen uitsluitend naar statische oplossingen zoekt. Duidelijk was dat Eddington dat obscure Waalse tijdschrift met het artikel van Lemaître niet had gelezen. Toen Lemaître hem erop attendeerde begreep Eddington meteen hoe belangrijk dat onderzoek was en hij zorgde ervoor dat het artikel werd vertaald en in een Engels tijdschrift werd gepubliceerd.

Lemaître heeft ingezien dat in een ver verleden alle materie dicht opeengepakt zat en hij noemde deze toestand 'l'atom primitif'. Hij is waarschijnlijk op het spoor van deze oplossing gezet door zijn geloof in een schepping door God. Eddington, zelf ook bijzonder religieus, had toch moeite met deze schepping. Het leek hem uiterst onwaarschijnlijk dat het heelal abrupt kon zijn ontstaan uit niets. Daar komt nog bij dat hij had bewezen dat het statisch heelal van Einstein een labiele toestand is. Wanneer ergens, door welke oorzaak ook, de dichtheid kleiner wordt, dan heeft dat tot gevolg dat overal de dichtheid afneemt. Een ster die opzwelt duwt de ruimte naar alle kanten weg en die expansie kan nooit meer tot staan worden gebracht.

Eddington meende dat het heelal er altijd in statische vorm was geweest. Een oneindig lange tijd gebeurde er niets totdat ongeveer vijftien miljard jaar geleden een toevallige, kleine verstoring optrad die alles in beweging zette.

De naam 'l'atom primitif' is nooit ingeburgerd. Tegenwoordig noemen we het begin van het heelal de Big Bang, een naam die is bedacht door Fred Hoyle. 'Big Bang' klinkt heel suggestief, maar laten we oppassen dat we het heelal geen eigenschappen toekennen die ons worden ingegeven door deze naam. Er is natuurlijk nooit een ontploffing geweest, om de eenvoudige reden dat er niets was dat kon ontploffen. Vijftien miljard jaar geleden was er niets, geen energie en geen materie, er was geen lege ruimte en er was zelfs geen tijd.

Eind 1940 en begin 1950 heeft George Gamov met zijn medewerkers veel onderzoek gedaan naar de fysische omstandigheden in de beginfase van het heelal. Zo verscheen in 1948 het beroemde artikel over het ontstaan van de chemische elementen

dat hij samen met zijn student Ralph Alpher had geschreven en waaraan ze voor de grap de naam van Hans Bethe hadden toegevoegd.

Eén van de belangrijkste resultaten van de groep van Gamov was het bewijs dat het heelal vroeger veel warmer was dan tegenwoordig. Kort na de Big Bang hadden dichtheid en temperatuur onvoorstelbaar hoge waarden, maar door de uitdijing werd de dichtheid kleiner en de temperatuur lager. In 1948 publiceerden Alpher en Robert Herman een kort commentaar op een eerder artikel van hun hoogleraar waarin ze enkele fouten hadden gevonden. Na correctie konden ze bewijzen dat het heelal, toen de eerste sterren ontstonden was afgekoeld tot nog geen 100°C. Sindsdien is de temperatuur blijven dalen en ze berekenden dat de huidige waarde vijf graden boven het absolute nulpunt ligt. Dit idee werkten ze in een tweede artikel gedetailleerder uit en ze trokken de belangwekkende conclusie dat we die gemiddelde temperatuur van het heelal moeten interpreteren als een achtergrondtemperatuur. En daar laten ze het bij. Ze hebben zich vermoedelijk niet gerealiseerd dat een achtergrond met zo'n lage temperatuur fotonen uitstraalt die van alle kanten op aarde arriveren en die met een radiotelescoop kunnen worden waargenomen.

De werelden van de theoretici en de experimentatoren liggen zover uiteen dat ze nauwelijks meer kennis nemen van elkaars specialismen. Daardoor wisten Alpher en Herman niet dat die straling al lang was ontdekt. Nu was dat geen schande want Andrew McKellar en Robert Dicke wisten het zelf ook niet.

Andrew McKellar werkte in 1941 in Canada op het Dominion Astrophysical Observatory en onderzocht de chemische samenstelling van de donkere stofwolken die tussen de sterren zweven. Voordat deze wolken een globule worden zijn ze nog zo ijl dat achterliggende sterren zichtbaar blijven, maar het sterrenlicht verandert wel als het door zo'n wolk reist. De moleculen in de wolk absorberen licht van de ster en deze absorptie verraadt de aanwezigheid van die moleculen. Andrew onderzocht de absorptie door het CN-molecule, een verbinding van koolstof en stikstof. Nu zijn de elektronen in moleculen geordend in schillen, vergelijkbaar met de schillenstructuren

van atomen en kernen. Uit zijn onderzoek bleek dat in één van de schillen van het interstellair CN-molecule een open plaats zit. Zo'n open plaats kan ontstaan door een botsing tussen twee moleculen zodat een elektron van de ene schil naar de andere gaat. In dit geval zou een heel zachte botsing al voldoende zijn. Dat betekent dat de moleculen slechts een kleine snelheid hebben en dat is zo als de temperatuur van het gas laag is. Andrew kon berekenen dat een temperatuur van ruim twee graden boven het absolute nulpunt al voldoende is om die open plaats te creëren en in stand te houden. Nu is dus de vraag, hoe warm of liever hoe koud zijn die wolken en daar had Eddington iets over geschreven in zijn beroemde boek *The Internal Constitution of the Stars*. Hoewel deze titel niet suggereert dat in het boek de interstellaire materie wordt behandeld, besteedt Eddington toch een kort laatste hoofdstuk aan dit onderwerp. Hij maakt hierin een schatting van de temperatuur in de wolken. Zijn uitgangspunt is dat ze worden verwarmd door het licht van de sterren er om heen en zijn conclusie is dan dat de wolken bijzonder koud zijn. De temperatuur is niet hoger dan drie graden boven het absolute nulpunt. En daarmee was Andrew McKellar zeer tevreden. Hij had immers een waarneming gedaan en kon die verklaren door te verwijzen naar een berekening van Eddington. Eddington had dit boek echter twintig jaar eerder geschreven en sommige resultaten waren achterhaald. Onder andere het laatste hoofdstuk. Bovendien weten wij nu dat de interstellaire wolken zo ijl zijn dat de moleculen nooit botsen. Kortom, de verklaring van Andrew was fout maar dat werd pas duidelijk nadat de achtergrondstraling was ontdekt. Het zijn de fotonen van de achtergrondstraling die de elektronen uit hun schil wippen.

Vijf jaar later liet een groep Amerikaanse onderzoekers de kans voorbij gaan de achtergrondstraling te ontdekken. Robert Dicke had een instrument gemaakt om de warmtestraling van de aardse dampkring te bepalen. De hoeveelheid straling die ze maten, was groter dan ze verwachtten en ze trokken daaruit de conclusie dat de aarde van buiten af wordt bestraald door een onbekende bron. Met hun instrument konden ze de temperatuur van die bron niet exact bepalen, maar ze schatten dat de temperatuur ten hoogste twintig graden boven het absolute

nulpunt lag. Ze hadden, zonder dat ze het wisten, de achtergrondstraling waargenomen.

In 1964 speelde Dicke opnieuw een rol in het verhaal van de achtergrondstraling en ook deze keer miste hij de kans de straling te ontdekken.

In de zestiger jaren waren twee heelalmodellen populair, het Big-Bang model en het Steady-State model en de astrofysici realiseerden zich dat het mogelijk moest zijn te ontdekken welk model het juiste is. Als er een Big Bang is geweest, dan moet er een achtergrondstraling zijn. Maar als we in een Steady-State heelal leven, dan is er geen achtergrondstraling. Dicke was aanhanger van de Big-Bang theorie en besloot te gaan zoeken met een verbeterde versie van zijn instrument uit 1946. Het is bijna niet te geloven, maar hij heeft zich niet herinnerd dat hij de straling toen in feite al had waargenomen. Maar ja, dat was dan ook twintig jaar geleden. Hij begon met de bouw van het apparaat in de zomer van 1964 samen met zijn medewerkers van Princeton University, in de buurt van New York. Tegelijkertijd, nog geen 50 kilometer verder, worstelden Robert Wilson en Arno Penzias met een berucht probleem uit de radiosterrenkunde. Zwakke bronnen aan de hemel gaan verloren in de ruis van de elektronica en ze probeerden de hardnekkige ruis van hun radiotelescoop te verkleinen. Tevergeefs, want het was geen ruis. Ze realiseerden zich niet dat hun telescoop de achtergrondstraling opving. Ze waren ook nooit op het idee gekomen naar de achtergrondstraling te gaan zoeken om de eenvoudige reden dat ze er van overtuigd waren dat we in een Steady-State heelal leven. Via via hoorden ze dat Dicke naar de achtergrondstraling zocht en ze nodigden hem uit naar de telescoop te komen kijken. Dicke was er meteen van overtuigd dat zij de straling hadden ontdekt en de teleurstelling was op zijn gezicht te lezen. Toch konden Penzias en Wilson het nauwelijks geloven, zo overtuigd waren ze van de juistheid van de Steady-State theorie. Daarom besloten ze in hun artikel uitsluitend de waarnemingen te geven en niets over heelalmodellen te zeggen.

Uit verder onderzoek door vele andere astronomen is duidelijk geworden dat Penzias en Wilson wel degelijk de achtergrondstraling hebben ontdekt en dat was de genadeslag voor de Steady-State theorie. In 1978 hebben ze voor deze prestatie

de Nobelprijs gekregen en we weten nu zeker dat ons heelal een begin heeft gehad.

Vijftien miljard jaar geleden is iets gebeurd waardoor het heelal ontstond, het creëerde zijn eigen expanderende ruimte en op hetzelfde ogenblik begon de tijd te lopen, vanaf het tijdstip nul tot nu. In die vijftien miljard jaar zijn de chemische elementen gemaakt en de materie heeft zich geordend in complexe structuren en op minstens één plaats is intelligent leven ontstaan dat kan denken en redeneren. De kunst van het denken is ontstaan door oefenen, eindeloos lang en steeds beter. Onze hersenen zijn getraind dingen te begrijpen uit de wereld om ons heen, vol met tastbare voorwerpen die afmetingen hebben vergelijkbaar met onze eigen afmeting. Voorwerpen die zeer veel groter of zeer veel kleiner zijn, kunnen door onze hersenen niet worden bevat. We kunnen ons nauwelijks iets voorstellen bij de kleine elementaire deeltjes waaruit de materie is opgebouwd. We begrijpen absoluut niet dat een elektron op een hard balletje lijkt terwijl het tegelijkertijd eigenschappen heeft die aan de rimpeling van een vloeistofoppervlak doen denken. Volgens ons voorstellingsvermogen moet het het één zijn of het ander en niet het één en het ander. Met geen enkele taal die mensen spreken kan de microscopische wereld worden beschreven, maar gelukkig is er een taal gevonden waar dat wel mee kan. De taal van de wiskunde. Voor veel mensen is deze taal even onbegrijpelijk als het Chinees of Japans voor anderen. Nietszeggende tekens waarvan je niet kunt begrijpen dat ze zinvol zijn en een idee met zich dragen. Met de taal van de wiskunde zijn de eigenschappen van de microwereld lang niet zo vreemd als met onze spreektaal en datzelfde geldt voor de macrowereld van het heelal. Als de eigenschappen van het heelal wiskundig worden beschreven, is het niet zo vreemd dat de ruimte gewelfd is en dat eens alles in een oneindig klein volume zat.

Omdat het heelal niet statisch is maar evolueert, is er een begin geweest en we kunnen in gedachten teruggaan in de tijd. Met onze kennis van de astrofysica zijn we in staat te beredeneren hoe het heelal er in een ver verleden uitzag. Naarmate onze theorieën beter worden, kunnen we verder terug reizen

en we zullen met steeds grotere zekerheid kunnen vertellen hoe het heelal er een fractie van een seconde na het begin uitzag. Maar de vraag hoe het is gebeurd en waarom, zal vermoedelijk altijd onbeantwoord blijven.

In de eerste seconden dat het heelal bestond was de temperatuur zo hoog dat elementaire deeltjes nauwelijks kans hadden te bestaan. De energierijke fotonen braken elk deeltje zodra het ontstond weer in stukken en daarom ook was kernfusie onmogelijk.

Eén tiende seconde na het ontstaan was de temperatuur dertig miljard graden en het heelal had een heel eenvoudige bouw. Het was een gloeiend hete bal energie die zich met razende snelheid naar alle kanten uitbreidde. Tien seconden later was de temperatuur gedaald tot drie miljard graden en na drie minuten tot omstreeks één miljard graden.

Toen het heelal vijf minuten oud was, gebeurde er iets belangrijks. Zwaar waterstof dat ontstond door fusie van twee protonen had grote kans te overleven omdat de fotonen niet genoeg energie meer hadden deze kern in stukken te breken. Dit waren de eerste kernfusiereacties in de geschiedenis van het heelal. Zwaar waterstof was geen eindprodukt, want deze kern kon botsen met een proton of neutron en op deze manier ontstond via enkele stappen een heliumkern. En daarmee stopte het proces. Een heliumkern bestaat immers uit vier deeltjes en neemt geen proton of neutron meer op omdat een kern met vijf deeltjes niet kan bestaan. Terwijl helium werd gevormd, ging de expansie van het heelal door en het koelde af en na een half uur was de temperatuur zo laag geworden dat kernfusie niet langer mogelijk was. Vijfentwintig minuten lang was er helium gemaakt en toen stopte de produktie.

Honderdduizenden jaren lang gebeurde er niets dat het vermelden waard is. Het heelal was niet meer dan een expanderende bal fotonen en deeltjes die op een chaotische wijze dooreen krioelden zonder enig herkenbare structuur. Na zevenhonderdduizend jaar was de temperatuur gedaald tot 3000°C en bij die temperatuur hadden de fotonen niet meer genoeg energie om het elektron los te breken van het proton en

het waterstofatoom bleef bestaan toen het eenmaal was gevormd. De overgrote meederheid van de rondzwervende elektronen was vanaf dit ogenblik zijn vrijheid kwijt, ze waren gebonden aan de protonen en werden door de fotonen niet meer herkend. Botsingen tussen fotonen en elektronen kwamen weinig meer voor, de stralingsdruk was weggevallen en de aantrekkingskracht kreeg de overhand. Daardoor ontstonden op allerlei plaatsen verdichtingen van materie, waarmee een nieuw tijdperk in de geschiedenis begon. Op datzelfde ogenblik begonnen die fotonen aan een zwerftocht door het steeds groter wordend heelal.

Gedurende de eerste zevenhonderdduizend jaar dat het heelal bestond kon de materie niet samenklonteren omdat de stralingsdruk het verhinderde. Dat was het straling-tijdperk, de periode dat de fotonen domineerden. Na zevenhonderdduizend jaar, op het moment dat waterstofatomen ontstonden, begon het materie-tijdperk en dat is nog steeds niet afgelopen. In dit tijdvak bepalen de eigenschappen van de materie en dus ook de zwaartekracht die tussen materiedeeltjes werkt, de loop van de geschiedenis. De fotonen spelen geen rol van betekenis meer.

Zodra inhomogeniteiten ontstonden greep de zwaartekracht zijn kans. De verdichtingen trokken van alle kanten materiaal naar zich toe en groeiden tot wolken. Ook in de wolken vormden zich verdichtingen waardoor ze in stukken uiteen vielen en de eerste sterren ontstonden in groepen van vele honderdduizenden, de bolvormige sterhopen. Het heelal was nog geen miljard jaar oud toen de zwaartekracht zijn eerste overwinning behaalde, op ontelbare plaatsen was de expansie omgezet in een contractie.

Iedere inhomogeniteit had genoeg materiaal voor de bouw van ruim honderd bolvormige sterhopen en ze begonnen in elliptische banen om hun gemeenschappelijk zwaartepunt te bewegen. Dit was de eerste aanzet voor de bouw van een melkwegstelsel.

De chemische samenstelling van de sterren in de bolvormige sterhopen was heel eenvoudig, bijna uitsluitend waterstof met een beetje helium, dat door fusie van waterstofkernen was gemaakt toen het heelal tussen vijf en dertig minuten oud was.

Terwijl de fusie van waterstof in de eerste generatie sterren op gang kwam, viel nog steeds ijl gas naar de groepen bolvormige sterhopen en het verzamelde zich in een platte schijf die de ruimte, waarin de bolvormige sterhopen zich bevonden, in tweeën deelde.

De sterren in de bolvormige sterhopen hadden allerlei massa's, variërend van één honderdste zonnemassa tot misschien wel honderd maal de massa van de zon. De zwaarste sterren waren al na honderdduizend jaar door hun waterstofvoorraad heen en het centrale deel van die sterren stortte in. Door de temperatuurstijging die hiervan het gevolg was, kon helium beginnen te fuseren tot koolstof en dit scenario herhaalde zich tot binnenin de ster ijzer was gemaakt. Toen was het nog maar een kwestie van jaren voordat de eerste supernova opvlamde en alle elementen, die in de loop van zijn leven door fusiereacties en door het invangen van neutronen waren gemaakt, de ruimte inblies. Daar kwamen deze nieuwe kernen terecht in de ijle stroom gas die materiaal van buiten naar binnen bracht en ze werden meegevoerd tot in de platte schijf die zich aan het vormen was. Hier ontstonden weer wolken die zich verdichtten en de tweede generatie sterren werd geboren, een generatie met een heel andere chemische samenstelling. Het materiaal van deze sterren was verrijkt met de overblijfselen van de zware sterren uit de bolvormige sterhopen. Ook in deze tweede generatie ontstonden weer zware en lichte sterren en de allerzwaarste werden al na korte tijd supernova, waardoor de schijf van het melkwegstelsel een steeds gevarieerdere chemische samenstelling kreeg.

In de beginjaren van het materie-tijdperk ontstonden veel meer zware sterren dan tegenwoordig waardoor ook vaker supernova-explosies voorkwamen. De catastrofale explosies waarmee de evolutie van die zware sterren eindigde, kondigden zich aan zodra door fusiereacties in de binnenste delen van de ster ijzer was gemaakt. Het centrale deel van de ster kromp waardoor de temperatuur steeg en bleef stijgen zonder dat een nieuwe serie fusiereacties kon starten. De alsmaar toenemende dichtheid beperkte de bewegingsvrijheid van de elektronen zo, dat ze de ijzerkernen raakten en er in werden geperst waarbij neutronen en neutrino's ontstonden. De neu-

trino's konden door de grote dichtheid niet ontsnappen en deden de ster uiteen barsten waarna slechts een bal neutronen overbleef. Deze neutronenster was niet groter dan twintig kilometer en had bizarre eigenschappen.

Door de grote massaconcentratie was de ruimte in de omgeving sterk gewelfd en de straling die de ster uitzond, volgde de vorm van de ruimte. Fotonen bogen zijwaarts af en verdwenen in een andere richting dan waarin ze vertrokken. Neutronensterren ontstonden als de massa van de imploderende ster zwaarder was dan 1,4 maal de massa van de zon. Sterren die lichter waren dan deze limiet van Chandrasekhar eindigden hun evolutie als witte dwerg terwijl zwaardere sterren neutronenster werden.

De neutronensterren die in het centrum van het melkwegstelsel ontstonden oefenden een geweldig sterke aantrekkende kracht op elkaar uit en de kleinste zal naar de grootste zijn getrokken. Misschien botsten ze of wellicht ontstond een dubbelster waarna materie van de een naar de ander werd gezogen. In ieder geval groeide de grootste ten koste van de kleinste en de grootste zal zoveel massa hebben gekregen dat de neutronen het gewicht niet meer konden dragen. Ze werden in elkaar gefrommeld en de ster stortte in. Terwijl dit gebeurde welfde de ruimte meer en meer en het licht van de ster boog af naar opzij en daarna zelfs naar achter. Fotonen die in de ene richting werden uitgezonden verlieten de ster in tegenovergestelde richting tot de ruimte zich als een schil rond de ster sloot. Op dat moment werden de fotonen gedwongen rond te ster te cirkelen, er was een horizon ontstaan waar ze niet overheen konden.

Buiten de horizon was de ruimte zo sterk gewelfd dat alles wat in de buurt bewoog er onweerstaanbaar naar toe ging. Passerende sterren die te dichtbij kwamen, werden uiteengerekt tot lange slierten gas die langs de welving van de ruimte naar de horizon werden getrokken en daar ontstond een dunne schijf materie. Bij botsingen tussen gasdeeltjes kwam energie vrij die werd uitgezonden voordat de materie achter de horizon verdween. Nadat de stervorming in het centrum van het melkwegstelsel eenmaal goed op gang was gekomen verdwenen op deze manier enkele miljoenen sterren waarbij een gigantische

hoeveelheid energie werd uitgestraald.

Hierna brak een rustiger episode aan in de evolutie van het melkwegstelsel. Vele miljoenen jaren lang straalde het vooral radiogolven uit die ontstonden bij botsingen tussen wolken materie in het centrale deel van het stelsel. Al die jaren verzamelde zich gas in de platte schijf en de dichtheid werd zo groot dat er sterren konden ontstaan. Daarmee kreeg het stelsel zijn definitieve vorm. In de platte schijf rangschikten zich honderd miljard sterren in spiraalarmen die in het centrum begonnen en naar buiten toe uitwaaierden. In de armen bevond zich ook veel stof in ijle, grillig gevormde wolken. Rond het stelsel bewogen de bolvormige sterhopen met nog uitsluitend lichte sterren die nog steeds waterstof fuseerden tot helium.

Het heelal was tien miljard jaar oud toen ergens halverwege het centrum en de rand van de schijf weer een wolk ging samentrekken. Op zich niets bijzonders, het was al zo ontzettend vaak gebeurd in dit melkwegstelsel. Toch zou dit een heel bijzondere ster worden. De wolk, eerst nog onregelmatig van vorm, werd al snel een globule. Binnenin steeg de temperatuur en na vijftig miljoen jaar begonnen de eerste kernfusiereacties, onze zon was geboren. Op dat moment was nog lang niet al het materiaal van de globule op de ster gevallen, veel gas was achtergebleven en dit condenseerde tot kleine stofjes. In deze wolk van stof die om de zon draaide, trokken zware deeltjes de lichtere naar zich toe. Zo ontstonden bescheiden verdichtingen met massa's veel kleiner dan die van de zon en daarom liep de temperatuur in hun centra niet hoger op dan tot enkele duizenden graden. Genoeg om de planeet, die net was ontstaan, gedeeltelijk te laten smelten en daardoor ontstond een scheiding van materialen. De zwaarste stoffen zakten door de stroperige vloeistof naar beneden en de lichtere kwamen boven drijven. Zo kreeg de aarde een kern van ijzer en een korst van veel lichter gesteente. Nog heel lang bleef materiaal naar de planeten vallen en gedurende hun eindeloze rondgang om de zon veegden ze de ruimte rond de ster schoon. De meeste stukken die op de planeten vielen, waren zo klein dat ze weinig schade aanrichtten, maar grote fragmenten kwamen met daverende snelheid neer en veroorzaakten gigantische inslagkraters die de planeten een pokdalig uiterlijk gaven.

In de aarde waren toen nog veel radioactieve elementen aanwezig, en dit radioactief verval was een belangrijke warmtebron voor de planeet. Deeltjes die door een instabiele kern werden uitgestoten, remden in het omringende gesteente af waarbij wrijvingswarmte vrijkwam. Plaatselijk smolt hierdoor gesteente, er ontstonden magmahaarden en als de druk te hoog opliep, spoot het vloeibare magma door scheuren en spleten naar buiten. In de eerste miljoenen jaren was de aarde veel warmer dan tegenwoordig zodat vulkaanuitbarstingen het aanzien van de aarde bepaalden. Met het gloeiende magma kwamen talrijke vluchtige moleculen naar buiten die rond de planeet bleven hangen. Deze primitieve atmosfeer bestond vooral uit waterdamp met kleinere hoeveelheden van diverse andere moleculen zoals methaan en ammoniak. Door de niet aflatende toevoer van waterdamp werd de waterdampdruk in de atmosfeer zo groot dat de maximale opnamecapaciteit werd bereikt en toen begon het te regenen. Lang en overvloedig en de oceanen regenden vol.

Omdat in deze atmosfeer geen vrije zuurstof aanwezig was, konden zich ook geen ozonmoleculen vormen en de ultraviolette straling van de zon drong door tot op het oppervlak van de aarde. Deze straling leverde de energie om chemische reacties op gang te brengen in de onderste laag van de dampkring en er ontstonden aminozuren die in het water van de oceanen oplosten en daar met elkaar reageerden. Zo ontstonden de macromoleculen, samengesteld uit honderden tot duizenden atomen, die het vage grensgebied tussen dood en leven markeerden. In de oceaan ontstond de eerste primitieve cel, een organisme dat moleculen en energie met zijn omgeving uitwisselde, een eenvoudige stofwisseling in stand hield en zichzelf kon reproduceren. De beslissende stap in de ontwikkeling van het leven werd gemaakt toen deze primitieve cellen de fotosynthese 'ontdekten'. Fotosynthese, het vermogen van planten om moleculen water en kooldioxide om te vormen tot suiker. De zuurstof die hierbij vrijkwam veranderde de dampkring van een zuurstofloze in een zuurstofrijke atmosfeer en op ongeveer dertig kilometer hoogte verzamelden zich moleculen die waren opgebouwd uit drie atomen zuurstof. De aarde had een ozonlaag gekregen die vanaf dat moment de energierijke ultraviolette straling van de zon absorbeerde waardoor hogere levensvormen konden ontstaan.

Eerst in het water van de oceanen en later ook op het land ontstond een bijna niet te tellen aantal soorten. Sommige handhaafden zich slechts korte tijd in een beperkt gebied, andere hadden zo'n groot aanpassingsvermogen dat ze de wereld veroverden. Nooit was dat een definitieve machtsovername, planten en dieren kwamen en gingen, want essentieel voor de evolutie van het leven was het doodgaan van individuen en het uitsterven van soorten. Uitsterven kon worden veroorzaakt doordat de evolutie een doodlopende weg was ingeslagen waardoor de levensvormen zich niet voldoende konden aanpassen aan de geleidelijke veranderingen om hen heen. Ook catastrofes hebben de loop van de evolutie beïnvloed. Eens waren de reptielen de hoogst ontwikkelde vorm van leven. Met een ongekende soortenrijkdom en in onvoorstelbare aantallen voerden ze de hegemonie over de aarde. Dinosaurussen kregen fabelachtige afmetingen en het werden de grootste dieren die de aarde hebben bevolkt. Hun opkomst was even verrassend als hun plotselinge ondergang. De inslag van een rotsblok met afmetingen van enkele kilometers woelde zoveel stof en zand in de atmosfeer dat het licht van de zon het aardoppervlak niet meer kon bereiken. In de jarenlange winter die volgde, stierven de meeste planten en daarmee ook de plantenetende reptielen. Hun hegemonie eindigde en de kleine zoogdieren die de ramp overleefden kregen kans zich te ontwikkelen. Uit hun evolutie ontstond de homo sapiens, een soort met grote en zeer goed ontwikkelde hersenen. Het is de eerste soort die zich afvraagt hoe het heelal is ontstaan en zijn huidige vorm heeft gekregen.

12 HEDEN BESTAAT NIET

Evolutie van leven en materie is niet mogelijk zonder overdracht van informatie. Organen in levende wezens communiceren met elkaar door elelektrische signalen die via zenuwvezels reizen. In de dode natuur geven lichtsignalen de informatie door van het ene object naar het andere. Eén van de meest fundamentele resultaten van de moderne natuurkunde was de ontdekking dat de snelheid waarmee informatie kan worden overgebracht een limiet heeft. Experimenteel is gevonden dat deze maximale snelheid bijna driehonderdduizend kilometer per seconde is. Dit getal is naar onze maatstaven zo groot, dat eeuwenlang is gedacht dat licht met oneindig grote snelheid reist en dat we gebeurtenissen zien op het moment dat ze gebeuren. Maar niets is minder waar, lichtsignalen reizen met die maximale snelheid waardoor elke ontvangst van informatie een boodschap uit het verleden is. Onze naaste omgeving zien we zoals het daar een onmeetbaar klein deel van een seconde geleden was, maar naarmate de afstand tot de gebeurtenis groter wordt, neemt de reistijd van de informatie toe en groeit onze informatieachterstand.

Radiosignalen van astronauten op de maan deden er ruim één seconde over om de afstand naar de aarde te overbruggen en de robot die op Mars landde, stond er al vier minuten voordat wij zeker wisten dat hij onbeschadigd was neergekomen. Een uitbarsting op de zon is al acht minuten achter de rug op het moment dat we de uitbarsting zien en de supernova die in 1987 voor zoveel sensatie zorgde, ontplofte meer dan honderdduizend jaar geleden. Zo lang had de flits van de explosie nodig om de aarde te bereiken. Hoe het op dit moment met de ster gaat, kunnen we niet waarnemen, we zouden honderdduizend jaar moeten wachten om het licht op te vangen dat hij vandaag naar ons stuurt. Hoe het heden er uitziet weten we niet, het heden is een ongrijpbaar iets dat wegijlt en verleden wordt.

Door de eindige snelheid van het licht is het niet mogelijk een momentopname te maken van het heelal. Foto's van de hemel zijn wezenlijk anders dan plaatjes van familieleden. Op een groepsfoto staan kinderen naast hun ouders en grootouders en de foto laat zien hoe ze er op het moment van de opname uitzagen. Op hemelfoto's zien we sterrenstelsels zoals ze er uitzagen toen het licht waarmee de foto werd gemaakt, bij het stelsel vertrok. Reistijden van het licht zijn verwaarloosbaar klein op aardse afstanden, maar in het heelal zijn de afstanden kolossaal en de reistijden geweldig lang.

Het Andromeda-stelsel staat zo ver weg dat het licht twee miljoen jaar nodig heeft de afstand te overbruggen. Deze afstand noemen we daarom twee miljoen lichtjaar. Het lijkt veel, maar Andromeda is onze meest nabije buur in het heelal. De afstand is zo klein dat we individuele sterren kunnen onderscheiden. We zien lichte sterren zoals de zon, die miljarden jaren lang waterstof tot helium fuseren, en zware sterren die al na enkele honderdduizenden jaren aan het eind van hun evolutie komen. De zware sterren die we op de foto zien, zijn er op dit moment al lang niet meer, maar die situatie kunnen we niet fotografisch vastleggen omdat het heden ongrijpbaar is. Alle sterren die de afgelopen twee miljoen jaar in Andromeda zijn ontploft, hebben hun lichtflitsen de ruimte ingestuurd en de komende twee miljoen jaar zullen die op aarde arriveren. We zien Andromeda zoals het stelsel er twee miljoen jaar geleden uitzag.

De sterrenstelsels ontstonden kort na het begin van het materie-tijdperk en ze werden meegevoerd door de expanderende ruimte en na zekere tijd zijn de snelste het verste gekomen. Als wij, een kleine vijftien miljard jaar later, het heelal inkijken, zien we stelsels met allerlei snelheden van ons af bewegen en we trekken de conclusie dat de snelste op de grootste afstand staat. Omdat het licht een eindige snelheid heeft zien we die verre stelsels zoals ze er lang geleden uitzagen. Door snel bewegende stelsels op te sporen kijken we de diepte van het heelal in en dus terug in de tijd.

Melkwegstelsels komen in allerlei soorten voor. Het Andromeda-stelsel en ook ons eigen stelsel, is plat van vorm met een verdikking in het midden en vanuit dit centrale deel waaieren

spiraalarmen naar buiten. Er zijn ook stelsels die de vorm van een ellipsoïde hebben zonder enig herkenbare spiraalstructuur. Al deze stelsels zenden veel licht uit en weinig radiostraling en we vinden ze tot op een afstand van één miljard lichtjaar. Daar achter zien we stelsels die vooral veel radiostraling uitzenden en hun afstanden liggen tussen één en drie miljard lichtjaar. Nog verder weg, verder dan drie miljard lichtjaar liggen de quasars. Ze staan zo ver weg dat ze slechts als kleine ronde vlekjes op foto's staan, net als sterren, maar ze zenden heel veel radiostraling uit. Hun naam is ontstaan uit een samenvoeging van 'quasi stellar radiosources': op sterren lijkende radiobronnen.

In het hart van een quasar is de ruimte zo sterk gewelfd dat een horizon is ontstaan. Straling uit de ruimte achter de horizon kan de barrière niet passeren waardoor communicatie tussen dat deel van het heelal en het deel waarin wij leven onmogelijk is. Wel kan materie en straling vanuit ons deel van het heelal langs de welving van de ruimte achter de horizon verdwijnen. Voor ons lijkt het alsof er een zwart gat in de ruimte te zit dat alles wat in de buurt komt opslorpt.

Overal om ons heen zien we quasars en met de huidige technieken zijn er vermoedelijk ruim honderd miljoen waar te nemen. Naarmate je verder kijkt, zie je meer quasars dicht bij elkaar en dat komt omdat het heelal in de tijd dat de eerste melkwegstelsels ontstonden nog klein was waardoor alles dicht opeen zat. Achter de quasars, nog verder terug in het verleden, zijn geen objecten gevonden. Uit dat hele verre verleden zijn alleen de fotonen over die gingen zwerven toen het materie-tijdperk begon.

13 TOEKOMST

Lang, nog heel lang zal de ruimte blijven expanderen. In dat uitdijend heelal zullen net als nu, wolken ontstaan die zich gaan verdichten tot globules waaruit sterren worden gevormd. Sterren met een massa kleiner dan die van de zon zullen tientallen miljarden jaren lang waterstof omzetten in helium. Wanneer tenslotte al het waterstof in het centrum van de ster is gefuseerd, daalt de temperatuur. Een lagere temperatuur betekent een kleinere gasdruk en de ster raakt uit balans. Het is een zich telkens herhalend thema in de evolutie van sterren. Als de temperatuur binnenin kleiner wordt, stort de ster in. Ineenstorten doet de temperatuur stijgen en als de temperatuur voldoende oploopt kan een nieuwe fusiereactie beginnen. De temperatuurstijging is afhankelijk van de massa van de ster. Bij zware sterren loopt de temperatuur hoger op dan bij lichte. Zo komt het dat de lichtste sterren tijdens hun leven slechts kennis maken met één soort fusie, de omzetting van waterstof in helium volgens de proton-proton reeks. Nadat deze fusie ten einde is gekomen gaan ze samentrekken en ze worden warmer, maar de temperatuur wordt nooit hoog genoeg om helium om te zetten in koolstof. De ster wordt een hete compacte bal helium, een witte dwerg die langzaam afkoelt en tenslotte geen licht meer uitstraalt.

Ook in iets zwaardere sterren zoals de zon zal ooit de waterstoffusie ten einde lopen. Over vijf miljard jaar is in het centrum al het waterstof helium geworden en het centrale deel van de zon begint dan naar binnen te vallen. Het zal enige tijd duren voor de temperatuur zover is opgelopen dat helium tot koolstof kan fuseren. Dat gloeiend hete centrum krijgt tijd om naar alle kanten warmte uit te stralen waardoor ook lagen daarbuiten heter worden. Tot dan toe was daar geen fusie mogelijk omdat de temperatuur te laag was. Maar dit gaat nu veranderen en in een schil rond het centrum komt de waterstof-

fusie op gang. Al heel spoedig is deze dunne waterstofschil helemaal omgezet in helium en deze schil begint mee in te storten met het centrale deel van de ster. Daarbuiten vormt zich een nieuwe dunne fusieschil. Dan is een merkwaardige ster ontstaan. Binnenin bestaat hij volledig uit helium en dat deel valt naar binnen. De temperatuur loopt op maar blijft geruime tijd te laag voor heliumfusie. Buiten dit gebied bestaat de ster nog grotendeels uit waterstof en in een dunne schil fuseert dit tot helium. Het centrale heliumdeel wordt groter en de schil met fusiereacties komt steeds dichter bij de buitenkant van de ster te liggen. Het gevolg hiervan is dat de buitenste lagen van de ster opzwellen en afkoelen, de zon wordt een rode reus. Dit heeft rampzalige gevolgen voor het leven op aarde, als dat er tegen die tijd nog is.

Ondertussen blijft de temperatuur binnenin stijgen en plotseling ontsteekt het helium en de zon ontploft. De buitenlagen worden met geweld weggeblazen en de kern van de ster wordt een witte dwerg, die na lange tijd afkoelt tot een donkere dwerg. Uiteindelijk zal van die schitterende zon niet meer overblijven dan een koude bal koolstof.

Sterren die zwaarder zijn dan de zon fuseren ook waterstof tot helium, maar ze doen dit met de CNO-cyclus en ze gaan veel kwistiger met hun waterstofvoorraad om. Hun evolutie gaat sneller en al na enkele honderdduizenden jaren zijn ze door hun waterstofvoorrraad heen. Ze storten in, ze zwellen op en ze worden gigantisch groot. Dan start een nieuwe fusiereactie en deze opeenvolging van gebeurtenissen herhaalt zich een aantal malen tot het centrale deel uit ijzer bestaat. Tenslotte vernietigt de ster zichzelf door een supernova-ontploffing. Een groot deel van de ster met alle nieuwe elementen, die door fusie van kernen en door het vangen van neutronen zijn gemaakt, wordt de ruimte ingeblazen. Een neutronenster blijft over. Bij de allerzwaarste sterren is de massa van het overblijfsel zo groot dat de neutronen het gewicht niet kunnen torsen en ze worden in elkaar geperst. Niets kan dat proces nog stoppen en de ster verdwijnt achter zijn horizon, er is een zwart gat ontstaan.

Nog lang zullen sterren worden gemaakt en in het heelal komen steeds meer donkere dwergen, neutronensterren en

zwarte gaten. Terwijl deze evolutieprocessen zich afspelen wordt alle materie van het heelal meegenomen door de uitdijende ruimte, maar de eindbestemming van die reis is nog niet met zekerheid bekend.

Met onze huidige kennis van de bouw van het heelal kunnen we niet voorspellen hoe de evolutie in de toekomst zal verlopen. Theoretisch zijn er twee mogelijkheden die eigenlijk nogal voor de hand liggen. De expansie gaat eeuwig door en in dat geval wordt het heelal na oneindig lange tijd oneindig groot. Het is ook denkbaar dat de expansie een tijdelijk verschijnsel is zodat het heelal tot een maximale grootte aangroeit. Wat in de verre toekomst gaat gebeuren hangt af van de dichtheid van de materie in het heelal. De wegijlende melkwegstelsels worden door de andere teruggetrokken en als de gemiddelde dichtheid voldoende groot is kan de uitdijing tot staan worden gebracht. Wanneer in het heelal, gemiddeld in iedere kubieke meter ruimte, drie protonen zitten is dat al genoeg. Deze waarde van de dichtheid wordt de kritische dichtheid genoemd.

We weten dat in elk melkwegstelsel om en nabij honderd miljard sterren zitten en we kunnen tellen hoeveel melkwegstelsels we in een deel van ruimte met bekende afmetingen zien. De gemiddelde dichtheid die daaruit volgt is kleiner dan de kritische dichtheid. Als deze waarnemingen juist zijn dan zal de uitdijing tot in lengte van dagen door blijven gaan. Dan zullen de komende tientallen miljarden jaren wolken blijven samentrekken tot sterren en die sterren zullen evolueren tot donkere dwergen, neutronensterren en zwarte gaten. De chemische samenstelling van het heelal zal heel geleidelijk veranderen, de hoeveelheid waterstof wordt kleiner en in de verre toekomst zullen minder sterren kunnen ontstaan. Dit effect wordt nog versterkt door de uitdijing van het heelal. De expanderende ruimte neemt de materie met zich mee en het heelal wordt steeds ijler.

De melkwegstelsels beginnen dan aan een rustige periode in hun bestaan. De sterren die er nog zijn doorlopen hun evolutie, de zware evolueren het snelst en de lichte blijven over. Na heel lange tijd zal de laatste ster zijn licht doven en het melkwegstelsel zal uit louter donkere materie bestaan. Deze

overblijfselen van sterren trekken door het melkwegstelsel en volgen de welvingen van de ruimte. Af en toe zullen ze bij elkaar in de buurt komen en als de ruimte sterk is gewelfd, ligt hun lot vast. Onherroepelijk gaan ze naar elkaar toe tot ze op elkaar vallen. Het zal niet erg frequent gebeuren maar het gebeurt, de toekomst duurt immers zo ontzettend lang. De twee sterren worden in elkaar geperst en er ontstaat een neutronenster of zwart gat. Zulke compacte objecten verzwelgen weer andere sterren. Wellicht maken de stelsels dan opnieuw een actieve periode door. Kort voordat materie achter de horizon van een zwart gat verdwijnt, wordt nog straling uitgezonden, maar deze oplevingen zullen van korte duur zijn. Als de uitdijing altijd door blijft gaan wordt het heelal ijler, kouder en groter.

Het is niet uitgesloten dat nog éénmaal iets gebeurt met de materie. Moderne theorieën over elementaire deeltjes voorspellen dat protonen op de lange duur niet stabiel zijn. Als dat waar is vervallen ze in neutrino's en positronen. Een positron is een deeltje zoals het elektron, maar het heeft een positieve elektrische lading. Wanneer een positron een elektron ontmoet, neutraliseren de ladingen elkaar en er ontstaan twee fotonen. In de verre toekomst wordt het heelal dan een oneindig grote ruimte waarin uitsluitend fotonen en neutrino's ronddolen.

Dit scenario voor de toekomst is nog niet zeker. De gemeten waarde van de dichtheid is wel te klein om de uitdijing te stoppen, maar het is bijna zeker dat bij dit onderzoek materie onopgemerkt is gebleven. Ook tussen de melkwegstelsel kunnen zich donkere wolken bevinden. Er zijn waarnemingen die dit vermoeden bevestigen, maar het lijkt nog niet mogelijk een schatting te maken van de hoeveelheid donkere materie. En dan is er nog een groot onopgelost probleem uit de natuurkunde van de elementaire deeltjes. Bij allerlei processen ontstaan neutrino's waarvan altijd werd aangenomen dat ze geen massa hebben. Eigenlijk is dat nooit bewezen, het enige dat we zeker weten is dat hun massa kleiner is dan het twintigduizendste deel van de massa van een elektron. Als ze massa hebben, hoe klein ook, dan heeft dat vérstrekkende gevolgen voor de toekomst. Er zwerven zo ontzettend veel neutrino's

rond, dat de dichtheid van het heelal misschien wel groter is dan de kritische dichtheid. In dat geval heeft het heelal een fascinerende toekomst.

Wanneer bijvoorbeeld de dichtheid twee maal zo groot is als de kritische waarde dan zal de expansie over vijftig miljard jaar tot staan zijn gebracht. Het heelal heeft dan zijn grootste afmeting gekregen en vanaf dat ogenblik beginnen alle stelsels naar elkaar toe te vallen met steeds toenemende snelheid. Het is niet uitgesloten dat tegen die tijd ergens anders intelligent leven is ontstaan en de astrofysici daar zullen met verbazing hun waarnemingen bestuderen. Zij zullen zien dat stelsels die niet al te ver van hun eigen stelsel liggen naar hen toe bewegen, maar stelsels op grote afstand gaan juist van hen af. Ongetwijfeld zullen ze ook ontdekken dat er een grootste snelheid is waarmee boodschappen kunnen worden overgebracht en dan zullen ze begrijpen dat hun heden niet bestaat en dat ze terug kijken in het verleden. Alle stelsels vallen naar hen toe. Ook die verre, maar het licht met die boodschap is nog onderweg naar hun wereld. Het licht dat ze van de verre stelsels ontvangen, werd uitgezonden toen het heelal nog expandeerde en het draagt die informatie met zich mee. Met deze waarnemingen zullen ze uit kunnen rekenen hoe lang geleden het heelal overging van een uitdijend naar een inkrimpend heelal. Dan zullen ze ontdekken dat de toekomst van het heelal op een film lijkt die wordt teruggedraaid, het verleden zal toekomst worden.

Door het krimpen van de ruimte wordt de afstand tussen de stelsels kleiner en de temperatuur van de achtergrondstraling stijgt. Het wordt overal zo heet dat geen enkele levensvorm meer mogelijk is. Er komt een tijd dat de hele hemel straalt met het felle licht van duizend zonnen. Het materie-tijdperk is dan geëindigd en een nieuw straling-tijdperk is begonnen. De melkwegstelsels zullen elkaar raken en in elkaar worden geduwd. De ruimte blijft krimpen en de temperatuur loopt op. Fotonen krijgen zoveel energie dat ze moleculen in stukken breken. Even later worden de atomen gekraakt. Protonen en neutronen blijven over. De toekomst is dan nog slechts vijf minuten lang. Vanaf dit moment is het heelal een gloeiend

hete bal energie. Met razende snelheid valt alles naar elkaar toe. De dichtheid wordt fabelachtig hoog. De temperatuur wordt één miljard graden. Drie minuten later is het al drie miljard graden. Dan duurt het nog maar één tiende seconde voor alles is verdwenen.

14 ACHTER ELKE NAAM EEN VERHAAL

ATKINSON, ROBERT (1898 - 1982)
Studeerde in Oxford en promoveerde bij James Franck in Göttingen. In 1937 ging hij terug naar Engeland. Werkte tijdens de oorlog aan technieken om schepen te demagnetiseren zodat ze beschermd waren tegen magnetische mijnen. In 1955 ontwierp hij het astronomisch uurwerk van de kathedraal in York ter nagedachtenis aan de 18000 omgekomen geallieerde vliegers die van Noord-Engelse vliegvelden waren opgestegen.

BOK, BART (1906 - 1983)
Zoon van een beroepsmilitair in Hoorn. Studeerde in Leiden en liet zich in 1938 tot Amerikaans staatsburger naturaliseren. Trouwde met de astronome Priscilla Fairfield. Samen schreven ze *The Milky Way*. Vanwege een verlamde rechterhand, een gevolg van polio, kon hij in de Tweede Wereldoorlog niet in dienst. Was medeauteur van *What to do Aboard the Transport or: Science from Shipboard*. Dit boekje kregen Amerikaanse militairen mee als ze zich inscheepten. In het begin van de jaren vijftig werd hij door senator McCarthy beschuldigd van staatsgevaarlijke activiteiten. Hij verdedigde zich met succes, maar de hele affaire was reden naar Australië te emigreren. In 1966 keerde hij in de Verenigde Staten terug en werd directeur van een sterrenwacht in Tucson, Arizona. Priscilla overleed in 1975.

BORN, MAX (1882 - 1970)
Kwam uit een rijke joodse familie. Zijn vader was hoogleraar anatomie in Breslau. Zijn moeder stierf toen hij vier jaar was, waarna hij door zijn oma werd opgevoed. Werd in 1921 hoogleraar in Göttingen. Hij heeft het woord 'quantum-mechanica' bedacht. Hij had een zwakke gezondheid en werd voor zijn astma opgenomen in een sanatorium. Toen tijdens de depressie in de dertiger jaren veel jonge medewerkers werden ontslagen,

organiseerde hij een actie waarbij hoogleraren tien procent van hun salaris afstonden om de jongere collega's een basisinkomen te verschaffen. Uit weerzin tegen het antisemitisme nam hij in 1933 ontslag en verliet Duitsland. In 1939 werd hij Brits staatsburger. Hij heeft altijd principieel geweigerd mee te werken aan militair onderzoek. In 1954 kreeg hij de Nobelprijs voor natuurkunde.

CANON, ANNIE (1863 - 1941)
Haar vader was senator van Delaware. Ze was één van eerste meisjes in Delaware die ging studeren. in 1896 kreeg ze een baan op de Harvard sterrenwacht. Ze was de eerste vrouw die een eredoctoraat kreeg in Oxford. Ze was ook de eerste vrouw die lid werd van de Royal Astronomical Society. Omdat volgens de statuten alleen mannen lid konden worden werd dit probleem omzeild door haar tot erelid te benoemen.

COCKCROFT, JOHN (1897 - 1967)
Ging in 1914 wiskunde studeren in Manchester, maar werd een jaar later opgeroepen voor de militaire dienst. Tijdens zijn diensttijd was hij telegrafist bij de verbindingstroepen. Na de oorlog besloot hij elektrotechniek te gaan studeren. Tijdens de Tweede Wereldoorlog heeft hij meegewerkt aan de ontwikkeling van de radar. Later heeft hij zich toegelegd op het zoeken van medische toepassingen van kernenergie. In 1951 kreeg hij de Nobelprijs voor natuurkunde. In 1966 werd hij benoemd tot president van de Pugwash-conferentie.

COMRIE, LESLIE (1893 - 1950)
Studeerde scheikunde in Auckland, Nieuw Zeeland en deed zijn doctoraal examen in 1916. Werd ondanks zijn slechthorendheid toch naar het front in Frankrijk gestuurd. Hij raakte gewond en verloor een been. Specialiseerde zich in Cambridge in de sterrenkunde en ontwikkelde zich tot een briljant numeriek wiskundige. In de Verenigde Staten werd hij redacteur van de Nautical Almanac. Tijdens de Tweede Wereldoorlog voerde hij berekeningen uit voor de artillerie om het geschut te kunnen richten. In de winter van 1940-41 kregen de Engelsen aanwijzingen dat Duitse bommenwerpers radiografisch naar hun doelen in Engeland werden geleid. Op basis van heel beperkte

waarnemingen kon Comrie de plaats van het radiobaken in Noord-Frankrijk tot op 30 meter nauwkeurig berekenen. In 1950 kreeg hij een hersenbloeding waarna hij nauwelijks nog kon spreken.

COTTINGHAM, EDWIN (1869 - 1940)
Maakte de school niet af, maar werd leerling bij de kleermaker van het dorp. Hij ging daarna bij de klokkenmaker werken en ontwierp en maakte de kerkklok van Thrapston. Maakte klokken voor talrijke sterrenwachten. Naast zijn interesse voor techniek had de vrijmetselarij zijn grote belangstelling.

CURIE, MARIE (1867 - 1934)
Dochter van een wiskundeleraar in Warschau. Ze ging in Parijs studeren en trouwde met Pierre Curie. In 1903 kregen ze de Nobelprijs voor natuurkunde. In 1905 werd Pierre hoogleraar, een jaar later kwam hij bij een verkeersongeluk om het leven. Ze heeft dit verlies nooit kunnen verwerken. Toen ze hem opvolgde was ze de eerste vrouwelijke hoogleraar aan de Sorbonne. Bij haar eerste college werd ze met een ovatie begroet. Tot ieders verbazing ging ze, zonder inleiding, verder met het laatste college van haar overleden echtgenoot. Ze weigerde een hoge onderscheiding van de regering. Haar voordracht tot lid van Franse Academie van Wetenschappen leidde tot een rel omdat ze een vrouw was. In 1911 kreeg ze voor de tweede maal een Nobelprijs, ditmaal voor scheikunde.
Tijdens de oorlog richtte ze een ambulance in met draagbare röntgenapparauur en ging daarmee naar het front. Marie Curie overleed aan leukemie, veroorzaakt door haar werk met radioactieve stoffen. Ze had twee dochters. Irene kreeg in 1935, samen met haar echtgenoot Frédéric Joliot, de Nobelprijs voor natuurkunde.

DARWIN, CHARLES (1887 -1962)
Zoon van George Howard Darwin, hoogleraar sterrenkunde in Cambridge en kleinzoon van Charles Robert Darwin. Hij kreeg een militaire onderscheiding vanwege zijn moed aan het Franse front. Werd in 1923 hoogleraar in Edinburgh. In 1938 volgde zijn benoeming tot directeur van het National Physical Laboratory dat hij, toen de oorlog uitbrak, volledig reorgani-

seerde. Na zijn pensionering in 1955 heeft hij gepubliceerd over wetenschap en samenleving. Hij was zeer bezorgd over de groei van de wereldbevolking.

DYSON, FRANK (1868 - 1939)
Zoon van een dominee in Ashby, Linconshire. Studeerde in Cambridge. Werd in 1894 medewerker op het Royal Greenwich Observatory en in 1910 directeur. Hij was een zeer bescheiden man die weinig publiceerde, maar veel liever zijn medewerkers stimuleerde. Voor wetenschappelijke projecten vroeg hij nooit meer geld dan hij werkelijk meende nodig te hebben. Hij zette zich in voor talrijke hulpverlenende organisaties, in het bijzonder het Rode Kruis. Gedurende de oorlog zamelde hij daarvoor veel geld in door parties te organiseren in de tuin van de sterrenwacht. In 1939 vertrok hij naar zijn dochter in Australië. Tijdens de reis werd hij getroffen door een beroerte en moest in Sydney worden verpleegd in een ziekenhuis. Hij is overleden tijdens de terugreis.

EINSTEIN, ALBERT (1879 - 1955)
Enig kind van de eigenaar van een chemisch bedrijf in München. Na het faillisement vertrokken zijn ouders naar Italië. Hun zoon bleef in Duitsland om het gymnasium af te maken. Zijn weerzin tegen het schoolse systeem was zo groot dat hij wegliep. Later heeft hij in Zwitserland alsnog het gymnasium afgemaakt en is in Zürich gaan studeren, met het idee leraar te worden. Hij trouwde met een medestudente en kreeg twee zoons. De eerste jaren kon hij geen werk vinden, zodat hij hier en daar wat les gaf. Uiteindelijk werd hij aangenomen op een octrooiburo waar hij zeven jaar bleef. In zijn vrije tijd schreef hij enkele wetenschappelijke artikelen, waarna hij werd benoemd tot hoogleraar in Zürich. In 1914 werd hij directeur van het Kaiser Wilhelm Instituut in Berlijn. In deze tijd liep zijn huwelijk vast, zijn vrouw en kinderen gingen terug naar Zwitserland en na de oorlog zijn ze gescheiden. Hij hertrouwde met zijn nicht. In 1921 kreeg hij de Nobelprijs voor natuurkunde. Toen Hitler aan de macht kwam was hij in de Verenigde Staten en hij verklaarde niet naar een door de nazi's geregeerd Duitsland te willen terugkeren. In 1952 heeft hij geweigerd president van Israël te worden.

FLEMING, WILIAMINA (1857 - 1911)
Ze werd geboren in Dundee, Schotland en ging na haar huwelijk naar de Verenigde Staten waar ze in 1881 rekenaarster werd op de Harvard sterrenwacht. Haar biograaf schrijft: 'As an astronomer Mrs. Fleming was somewhat exceptional in being a woman; and in putting her work alongside that of others, it would be unjust not to remember that she left her heavy daily labours at the observatory to undertake on her return home those household cares of which a man usually expects to be relieved.'

FOWLER, RALPH (1889 - 1944)
Hij had de interesse voor sport van zijn vader geërfd, die in het Engelse nationale rugbyteam uitkwam. In de Eerste Wereldoorlog diende hij bij de mariniers en raakte in Turkije zwaar gewond. Terug in Engeland ontwikkelde hij optische instrumenten voor de artillerie en deed onderzoek naar kogelbanen. Hij trouwde met de dochter van Rutherford. Ze stierf in 1930 kort na de geboorte van hun vierde kind. Tijdens de Tweede Wereldoorlog deed hij ballistisch onderzoek en werkte mee aan de ontwikkeling van pantsergranaten voor de marine. In 1938 ging zijn gezondheid sterk achteruit en hij overleed in 1944.

FRANCK, JAMES (1882 - 1964)
Zoon van een joodse bankier. Zijn vader wilde dat hij rechten ging studeren in Heidelberg om hem later te kunnen opvolgen. Daar ontmoette hij Max Born die hem enthousiast maakte voor de natuurwetenschappen. Tijdens de Eerste Wereldoorlog meldde hij zich vrijwillig voor dienst aan het front en werd onderscheiden met het IJzeren Kruis. Hij werd hoogleraar in Göttingen en kreeg in 1925 de Nobelprijs voor natuurkunde. In 1933 nam hij ontslag en verliet Duitsland. Franck heeft zich tevergeefs verzet tegen het gebruik van de atoombom. Hij pleitte ervoor de Japanners eerst door een proefexplosie kennis te laten maken met de afschuwelijke gevolgen. Göttingen eerde hem in 1953 bij het duizendjarig bestaan van de stad door hem tot ereburger te benoemen.

FRIEDMANN, ALEXANDER (1888 - 1925)
Hij kwam uit een zeer muzikale familie. Zijn vader was com-

ponist en zijn moeder de dochter van een Tsjechisch componist. Hij studeerde wiskunde. Tijdens de oorlog was hij directeur van een fabriek die instrumenten maakte voor vliegtuigen. In 1918 werd hij benoemd tot hoogleraar theoretische natuurkunde, eerst in Perm en later in Leningrad.

FRISCH, OTTO (1904 - 1979)
Zijn vader was een joods jurist die in Wenen in een drukkerij werkte, zijn moeder was concertpianiste en zus van Lise Meitner. Na zijn studie werkte hij een jaar bij een firma die meetinstrumenten voor röntgenstraling maakte. Daarna ging hij naar Berlijn, maar vluchtte in 1933 naar Engeland. Hij trouwde pas toen hij 47 was en kreeg een zoon en dochter. Zijn vader overleefde een concentratiekamp. Kort na zijn vrijlating schreef hij zijn gruwelijke ervaringen op en gaf ze in een verzegelde envelop aan zijn zoon met de mededeling dat hij er nooit meer over wilde praten. Otto Frisch moest aan beide ogen worden geopereerd wegens staar die was ontstaan door het werken met neutronen bij de ontwikkeling van de atoombom.

GERASIMOVIC, BORIS (1889 - 1937)
Zijn vader was arts en directeur van een ziekenhuis. Hij begon zijn studie natuurkunde in 1910 aan de universiteit van Charkow, waar hij in 1913 afstudeerde. Wegens zijn socialistische opvattingen kreeg hij geen toestemming zijn studie in het buitenland voort te zetten.

GREEN, HENRY (1889 - 1944)
Werd in 1905 rekenaar op de sterrenwacht in Greenwich. Kreeg twee jaar later rheuma en werd afgekeurd waardoor hij geen vaste aanstelling kon krijgen. Vond toen een baan bij een firma die optische instrumenten maakte. Hij meldde zich vrijwillig voor de militaire dienst toen de oorlog uitbrak, maar hij werd afgekeurd. Bij het ministerie van defensie werd hij aangenomen om waterstanden uit te rekenen. In 1918 nodigde Eddington hem uit bij hem in Cambridge te komen werken. Daar begon hij naast zijn werk aan de studie sterrenkunde en haalde zijn doctoraalexamen in 1927.

HEISENBERG, WERNER (1901 - 1976)
Studeerde theoretische natuurkunde aan de universiteit van München waar zijn vader Grieks doceerde. In 1932 kreeg hij de Nobelprijs voor natuurkunde. Hij was zeer nationalistisch en is tijdens de Tweede Wereldoorlog kernfysisch onderzoek blijven doen. Zijn rol is omstreden. In 1942 hield hij voor nazi-kopstukken een voordracht waarin hij wees op de mogelijkheid van een atoombom. Hij benadrukte ook dat de constructie economisch onhaalbaar was en dat de Duitsers beter een kernreactor konden ontwikkelen, die ook voor militaire doeleinden bruikbaar zou zijn. Zijn in dialoogvorm geschreven autobiografie *Der Teil und das Ganze*, is historisch misleidend genoemd. Hij kwam in conflict met bondskanselier Adenauer wegens de, naar zijn mening, te geringe financiële middelen voor de bouw van een kernreactor. Uit protest weigerde hij Duitsland in 1955 te vertegenwoordigen op de conferentie in Genève over het vreedzaam gebruik van atoomenergie.

HERTZSPRUNG, EJNAR (1873 - 1967)
Zijn vader was een amateur astronoom die zijn zoon adviseerde scheikunde te gaan studeren. Hij werkte eerste in Leningrad en later in Göttingen, waar hij zich tot Duits staatsburger liet naturaliseren. In 1919 verliet hij Duitsland en werd hoogleraar sterrenkunde in Leiden. Hij wilde niet langer de Duitse nationaliteit hebben, maar het heeft hem veel moeite gekost weer Deen te worden. Hij had een hekel aan college geven. Na zijn pensionering is hij in Denemarken gaan wonen en hij heeft nog twintig jaar sterrenkundig onderzoek kunnen doen. Hij had weinig belangstelling voor zaken buiten de sterrenkunde.

HEVESY, GEORGE VON (1885 - 1966)
Zoon van een joods koopman die zijn acht kinderen naar katholieke scholen stuurde. George was de enige die verder studeerde, eerst in Budapest en later in Duitsland. In 1915 ging hij in dienst, maar werd vanwege zijn zwakke gezondheid te werk gesteld in een fabriek waar kerkklokken werden omgesmolten tot hulzen voor granaten. In 1919 vertrok hij naar Kopenhagen waar hij met een Deense trouwde. Hij werd hoogleraar in Freiburg, maar in 1933 moest hij vluchten voor de

nazi's. Hij ging weer naar Kopenhagen. Toen de Duitsers Denemarken bezetten, moest hij opnieuw vluchten. Ditmaal naar Zweden. In de herfst van 1944 hoorde hij dat hij de Nobelprijs voor scheikunde had gekregen. Hij maakte gebruik van het recht van een Nobelprijswinnaar om Zweeds staatsburger te worden. In 1962 werd longkanker bij hem geconstateerd, hij heeft toen zijn autobiografie geschreven.

HUBBLE, EDWIN (1889 - 1953)
Woonde tijdens zijn schooljaren in Chicago waar zijn vader bij een verzekeringsmaatschappij werkte. Op school en tijdens zijn studie blonk hij uit bij atletiek en boksen. Hij deed zijn kandidaatsexamen sterrenkunde in Chicago. Een bokspromotor probeerde hem over te halen te gaan trainen zodat hij de wereldkampioen zwaargewicht kon uitdagen. Hubble onderbrak zijn studie en ging in Oxford rechten studeren. In 1913 keerde hij in de Verenigde Staten terug en begon een advocatenkantoor. Na een jaar al had hij daar genoeg van en hij ging weer naar de universiteit om zijn studie sterrenkunde af te maken. Hij promoveerde in 1917 en kreeg een baan aangeboden op de Mt. Wilson sterrenwacht. Hij wilde echter liever in dienst en werd naar het front in Frankrijk gezonden. Pas op dertig jarige leeftijd begon hij wetenschappelijk onderzoek te doen. Tijdens de Tweede Wereldoorlog deed hij ballistisch onderzoek. Hij was gek op vissen.

JOLIOT, FRÉDÉRIC (1900 -1958)
Na zijn studie als ingenieur ging hij op het laboratorium van Madame Curie werken. Daar ontmoette hij haar dochter Irene, waarmee hij een jaar later trouwde. In 1925 kregen zij samen de Nobelprijs voor scheikunde. Bij het uitbreken van de Tweede Wereldoorlog beëindigde hij zijn kernfysisch onderzoek uit angst dat de Duitsers er hun voordeel mee zouden kunnen doen.
Hij was actief in het verzet en werd in 1942 lid van de verboden communistische partij. Na de oorlog kwam hij in conflict met de regering door zijn uitspraak dat hij als wetenschapper nooit mee zou werken aan een oorlog tegen de Sovjet Unie. Zijn echtgenote overleed in 1956 aan leukemie, zeer waarschijnlijk een gevolg van haar werk met radioactieve stoffen.

LANDAU, LEV (1908 - 1968)
Zoon van een petrochemisch ingenieur in Baku. Zijn moeder was arts. Slaagde voor het eindexamen van de middelbare school toen hij dertien was, maar zijn ouders vonden hem te jong om naar de universiteit te gaan. Het jaar daarop werd hij toch eerstejaars. Samen met Ilya Lifshitz heeft hij een serie beroemd geworden leerboeken over de theoretische natuurkunde geschreven, die in zeven talen werden vertaald. Hij kreeg hiervoor de Leninprijs. Tijdens de Tweede Wereldoorlog onderzocht hij de schokgolven die bij zware explosies ontstaan.
In januari 1962 moest de auto waarin hij meereed plotseling remmen voor een overstekend meisje. De auto slipte op het gladde wegdek en werd gegrepen door een tegemoetkomende vrachtwagen. Landau liep ernstig hersenletsel op en lag bijna twee maanden in coma. Neurologen uit meerdere landen werden ingeschakeld. In december 1962 kreeg hij de Nobelprijs voor natuurkunde. Zijn echtgenote en zoon namen de prijs in Stockholm in ontvangst. Landau overleed in 1968. Over de laatste jaren van zijn leven heeft A. Dorozynski een boek geschreven: *The man they wouldn't let die.*

LANGEVIN, PAUL (1872 -1946)
Studeerde in Parijs en Cambridge en werd in 1909 hoogleraar aan de Sorbonne. Tijdens de Eerste Wereldoorlog ontwikkelde hij een methode om met ultrasone geluidsgolven onderzeeboten op te sporen. Tegenwoordig wordt deze echopeiling algemeen gebruikt om dieptes te meten, maar ook om scholen vis op te sporen. In 1940 arresteerden de Duitsers hem wegens zijn anti-fascistische houding en hij kreeg huisarrest. De executie van zijn schoonzoon en de deportatie van zijn dochter naar het concentratiekamp Auschwitz deden hem in 1944 besluiten naar Zwitserland te vluchten.

LARMOR, JOSEPH (1857 - 1942)
Studeerde natuurkunde in Belfast. Was van 1903 tot 1932 hoogleraar in Cambridge. Hij had weinig vertrouwen in de richting waarin de natuurkunde zich in het begin van deze eeuw ontwikkelde. Zijn artikelen zijn slecht leesbaar, mede

door zijn formele stijl. Jarenlang schreef hij artikelen voor The Times. Hij was zich zeer bewust van zijn Noord-Ierse afkomst en na zijn pensionering ging hij dan ook naar Noord-Ierland terug.

LAUE, MAX VON (1879 - 1960)
Studeerde theoretische natuurkunde in Göttingen. In 1914 kreeg hij de Nobelprijs. Tijdens de Eerste Wereldoorlog werkte hij voor het leger aan de ontwikkeling van de radio. Op 18 september 1933 veroordeelde hij in het openbaar het optreden van de nazi's tegen Einstein. Hiervoor kreeg hij een berisping van de minister van onderwijs. In 1937 zond hij zijn zoon naar de Verenigde Staten om te voorkomen dat hij in dienst moest. Hij heeft tijdens de oorlog in zijn auto vluchtelingen naar de grens gereden en helpen ontsnappen. In Berlijn had hij een zekere faam door de grote snelheid waarmee hij zich naar de collegezaal spoedde, eerst op de motor en later toen hij ouder werd met de auto. Hij raakte in 1960 zwaar gewond bij een verkeersongeluk en overleed twee weken later.

LEMAITRE, GEORGES (1894 -1966)
Hij werd in de Belgische plaats Charleroi geboren en ging in 1911 in Leuven techniek studeren. In 1914 meldde hij zich vrijwillig voor de militaire dienst en kreeg na de oorlog het 'Croix de Guerre'. Terug op de universiteit zwaaide hij om naar wiskunde. Na zijn afstuderen ging hij naar het seminarie en werd tot priester gewijd. Hij werd in 1927 hoogleraar in Leuven.

LENARD, PHILIPP (1862 - 1947)
Zoon van een Hongaars wijnhandelaar. Studeerde in Duitsland en ging vervolgens naar Engeland waar hij het zo slecht naar de zin had dat hij al na een half jaar terugging. In 1905 kreeg hij de Nobelprijs voor natuurkunde, die hij wegens ziekte niet zelf in ontvangst kon nemen. Zijn hoofd werd door een samengetrokken nekspier op zijn schouder getrokken en hij herstelde van de operatie waarbij de spier was verwijderd. De nederlaag van Duitsland in 1918 was voor Lenard onverdraaglijk. Zijn zoon kwam om door ondervoeding en hij was het geld van de Nobelprijs kwijtgeraakt. Door dit alles haatte hij de Engelsen. Hij verweet Engelse onderzoekers zijn werk verkeerd te citeren en plagiaat te plegen. De populariteit van Einstein in Engeland riep bij hem zo'n afkeer op dat hij de relativiteitstheorie ging bestrijden, waarbij hij de normen van fatsoenlijk gedrag ruimschoots overschreed. Lenard was een felle antisemiet geworden en een volgeling van Hitler. Wegens zijn hoge leeftijd is hij na de capitulatie niet berecht.

LYMAN, THEODORE (1874-1954)
Studeerde aan de Harvard University in Boston waar zijn vader bioloog was. Hij kwam uit een rijke Amerikaanse familie en woonde op het familielandgoed in de buurt van Boston.

MEITNER, LISE (1878 - 1968)
Dochter van een joods advocaat in Wenen. Mocht van haar ouders natuurkunde gaan studeren mits ze eerst een onderwijsbevoegdheid Frans haalde, zodat ze zeker zou zijn van een baan. Na haar studie ging ze naar Berlijn. Ze ontmoette er Otto Hahn die een medewerker zocht, maar de directeur van het instituut wenste geen vrouw in zijn laboratorium. Lise kreeg een hoekje in de timmermanswerkplaats in de kelder. Ze kon in 1933, toen Hitler aan de macht kwam, in Duitsland blijven omdat ze Oostenrijkse was. Na de annexatie van Oostenrijk in 1938 vluchtte ze naar Nederland en ging vandaar naar Niels Bohr. Ze kreeg een baan aangeboden in Stockholm en werd in 1949 Zweeds staatsburger. Ze heeft geweigerd mee te werken aan de ontwikkeling van de atoombom. In 1966 kreeg ze als eerste vrouw de Fermi Award. Ze is ongetrouwd gebleven.

MOSELEY, HENRY (1887 - 1915)
Zijn vader, hoogleraar anatomie in Oxford, overleed kort voor de vierde verjaardag van zijn zoon.
Henry was een briljant student in Oxford en werd in 1910 medewerker van Rutherford. In juni 1914 ging hij naar Australië om een voordracht te houden op een conferentie van de British Association for the Advancement of Science. Toen bekend werd dat Engeland de oorlog had verklaard aan Duitsland voelde hij zich verplicht ogenblikkelijk terug te keren. Tijdens de bootreis leerde hij zichzelf de morsecode. Als telegrafist werd hij ingezet aan het front in Turkije. Hij kwam op 10 augustus 1915 om het leven.

NEWALL, HUGH (1857 -1944)
Zijn vader had verschillende uitvindingen gedaan en een bedrijf gesticht dat onderzeese telefoonkabels maakte en ook legde. In zijn tuin had hij een amateursterrenwacht gebouwd en zijn ideaal was dat de instrumenten voor wetenschappelijk onderzoek zouden worden gebruikt. Zijn zoon Hugh had niet de minste interesse in sterrenkunde en ging in Cambridge wiskunde studeren. Enkele weken voor zijn dood in 1889 schonk zijn vader de sterrenwacht aan de universiteit. Hugh, die zijn vader's wens graag in vervulling zag gaan, schonk de universiteit £300,- voor de verplaatsing van de instrumenten. Bovendien bood hij aan gedurende vijf jaar zonder salaris waarnemingen te doen met het instrument, mits hij in de directe omgeving van de sterrenwacht een huis kon bouwen. Mocht dit laatste niet mogelijk zijn dan verwachtte hij per jaar een bijdrage van £200,- in zijn reiskosten. De universiteit accepteerde het aanbod, liet hem een huis bouwen vlak bij de sterrenwacht en benoemde hem in 1909 tot hoogleraar sterrenkunde.

PICKERING, EDWARD (1846 -1919)
Hij werd in 1865 medewerker bij het pas opgerichte Massachusetts Institute of Technology in Boston. Hier introduceerde hij een revolutionaire onderwijsvernieuwing voor natuurkundestudenten. Het MIT kreeg als eerste Amerikaanse universiteit practicumzalen voor studenten. De experimenten die de studenten moesten doen waren door Pickering zelf bedacht en hij had ook de handleidingen geschreven. In 1876 werd hij directeur van de Harvard sterrenwacht. In 1886 schonk de weduwe van Henry Draper, een rijke huisarts en amateur astronoom, een som geld ter bevordering van het sterrenkundig onderzoek. Pickering bouwde een instrument om sterrenspectra te fotograferen en nam een aantal vrouwen in dienst om het materiaal te bestuderen.

PLANCK, MAX (1858 - 1947)
Zijn vader was jurist en hoogleraar in Kiel. Max was een begaafd musicus en een goed bergbeklimmer. In 1918 kreeg hij de Nobelprijs, maar die kon pas het jaar daarop worden uitgereikt. In 1937 trad hij af als president van het Kaiser Wilhelm Instituut uit protest tegen het optreden van de nazi's tegen joodse collega's. Planck heeft in zijn leven veel verdriet gekend. Hij trouwde in 1887 en kreeg twee zonen en twee dochters. Zijn echtgenote stierf in 1909. Alle vier zijn kinderen overleden nog tijdens zijn leven. Zijn oudste zoon kwam in 1916 om bij de slag om Verdun. De meisjes, een tweeling, stierven beiden kort na de geboorte van hun eerste kind. Zijn jongste zoon werd in 1944 geëxecuteerd omdat hij betrokken zou zijn geweest bij een aanslag op Hitler. Bij de bombardementen op Berlijn zijn al zijn bezittingen, inclusief zijn bibliotheek en archief, verloren gegaan. Na de oorlog werd het Kaiser Wilhelm Instituut naar hem genoemd.

PLASKETT, JOHN (1865 - 1941)
Canadees uit de provincie Ontario. Zijn ouders haalden hem van school om op de boerderij te werken. Werd monteur in een fabriek van elektrische apparatuur. Vond daarna een baan als technicus op het natuurkundig laboratorium van de University of Toronto. Besloot op dertigjarige leeftijd om naast zijn baan natuurkunde te gaan studeren. Ging in 1903 naar de sterrenwacht in Ottawa en bouwde daar de instrumenten voor de expeditie naar de zonsverduistering van 1905. In 1918 werd hij directeur van het nieuwe Dominion Astrophysical Observatory in Victoria, B.C. Hij vond populariseren van de sterrenkunde belangrijk en was er trots op dat jaarlijks vele duizenden toeristen zijn sterrenwacht bezochten. Eén van zijn twee zoons werd hoogleraar sterrenkunde in Oxford.

RAMAN, CHANDRASEKHARA (1888 - 1970)
Zoon van een hoogleraar wis- en natuurkunde in Madras. Hij deed doctoraal examen in 1907, maar kon vanwege zijn zwakke gezondheid zijn studie niet in Engeland voortzetten. Werd ambtenaar bij het ministerie van financiën. Deed in zijn vrije tijd onderzoek naar de natuurkunde van muziekinstrumenten. In 1917 werd hij benoemd tot hoogleraar bij de pas opgerichte universiteit van Calcutta. Hij ging in 1921 naar Engeland en raakte gefascineerd door de prachtige blauwe kleur van de Middellandse Zee. Voor zijn verklaring hiervan kreeg hij in 1930 de Nobelprijs voor natuurkunde. Hij richtte het Indian Journal of Physics op. De laatste jaren van zijn leven deed hij

onderzoek naar de kleuren van bloemen. Hij had een schitterende rozentuin.

RUSSELL, HENRY (1877 - 1957)
Tot zijn twaalfde jaar ging hij niet naar school, maar kreeg les van zijn ouders. Zijn vader was een Presbyteriaans dominee. Na zijn studie ging hij enkele jaren naar Cambridge. In 1911 werd hij hoogleraar op Princeton University. Tijdens de oorlog bestudeerde hij de problemen die piloten hadden bij hun navigatie. Naast veel wetenschappelijke publikaties schreef hij meer dan 500 populair-wetenschappelijke artikelen.

RUTHERFORD, ERNST (1871 -1937)
Zijn vader, een Schotse smid, emigreerde in 1842 naar Nieuw Zeeland. Zijn moeder kwam uit Engeland waar ze onderwijzeres was. Ze kregen twaalf kinderen. Na zijn studie gaf hij een jaar les en hij werd verliefd op de dochter van zijn hospita, waar hij later mee trouwde. In 1895 ging hij naar Cambridge. Drie jaar later werd hij hoogleraar in Canada in een zeer modern fysisch laboratorium dat werd gefinancierd door een schatrijke tabaksplanter die zelf een gruwelijke hekel aan roken had. Wetenschappelijk voelde hij zich toch wat geïsoleerd en in 1907 ging hij terug naar Engeland. In 1908 kreeg hij de Nobelprijs voor scheikunde. Hij was verzot op golf en motor rijden. Hij werd in Westminster Abbey begraven naast het graf van Newton.

SACHAROV, ANDREJ (1921 - 1989)
Zijn vader was natuurkundige en schreef het eerste popuair-wetenschappelijke natuurkundeboek in de Russische taal. Andrej studeerde natuurkunde aan de universiteit van Moskou. Hij werkte in geheime onderzoekcentra in Centraal-Azië mee aan de ontwikkeling van kernwapens. Tegen het eind van de jaren vijftig uitte hij zijn twijfels over de steeds verdergaande wapenwedlooop. In 1968 schreef hij een essay *Progress, Coexistence and Intellectual Freedom* dat in de New York Times werd gepubliceerd en dat later in boekvorm verscheen. In de Sovjet Unie was het verboden lectuur. Na het overlijden van zijn echtgenote hertrouwde hij met de kinderarts Jelena Bonner. In 1975 kreeg hij de Nobelprijs voor de vrede, maar hij

kreeg geen toestemming de prijs zelf in ontvangst te nemen. Toen hij in 1980 protesteerde tegen de inval in Afghanistan werd hij verbannen naar Gorki, een stad verboden voor buitenlanders. Hij is daar verschillende malen in hongerstaking gegaan. In 1986 mocht hij terugkeren naar Moskou waar hij werd gekozen tot parlementslid.

SAHA, MEGHNAD (1894 - 1956)
Kwam uit een arm gezin, maar kreeg een studiebeurs om wiskunde te gaan studeren. Na ruzie met de hoogleraar stapte hij over naar de natuurkunde en promoveerde in 1918. In die jaren raakte hij geïnteresseerd in de sterrenkunde en werkte zelfstandig 25 jaargangen van het Engelse wetenschappelijk tijdschrift 'Monthly Notices of the Royal Astronomical Society' door. Hij ijverde voor de kalenderhervorming in India. In 1952 werd hij gekozen tot lid van het parlement. Hij was actief in het voorbereiden van industriële en wetenschappelijke projecten.

SCHRÖDINGER, ERWIN (1887 - 1961)
Enig kind van een directeur van een fabriek waar zeildoek werd gemaakt. Hij is nooit naar de lagere school geweest, maar hij kreeg thuis privéles. Na het gymnasium in Wenen ging hij natuurkunde studeren. In 1927 werd hij hoogleraar in Berlijn. Hij protesteerde tegen het optreden van de nazi's tegen joodse collega's en nam ontslag. Hij kreeg een baan in Oxford, maar had zoveel heimwee dat hij in 1936 terugging naar Oostenrijk. Na de annexatie door Duitsland moest hij vluchten. Alles ging zo snel dat hij zonder geld, met slechts wat handbagage naar Italië kon ontsnappen. In 1939 werd hij benoemd in Dublin en is daar tot zijn pensioen gebleven. Hij besteedde veel aandacht aan de voorbereiding van zijn colleges. Behalve wetenschappelijke artikelen publiceerde hij poëzie. Karakteristiek was zijn aankomst op belangrijke congressen: wandelend vanaf het station met zijn bagage in een rugzak. In 1933 kreeg hij de Nobelprijs voor natuurkunde.

SHAPLEY, HARLOW (1885 -1972)
Geboren op een boerderij in Missouri ging hij nogal onregelmatig naar school. Zijn eerste baan was journalist bij een

plaatselijke krant in Kansas. Hij wilde studeren en koos, omdat er geen school voor journalistiek was, maar voor een studie sterrenkunde. In 1921 werd hij directeur van de Harvard sterrenwacht. Vanaf 1933 heeft hij zich ingespannen om joodse wetenschappers die waren gevlucht voor Hitler, aan een baan in de Verenigde Staten te helpen. Door zijn steun aan progressieve politieke stromingen werd hij in het begin van de jaren vijftig door senator McCarthy beschuldigd van staatsgevaarlijke activiteiten. Hij heeft zich sterk gemaakt voor de oprichting van de UNESCO.

SITTER, WILLEM DE (1872 -1935)
Hij werd geboren in Sneek. Ging in Arnhem, waar zijn vader rechter was, naar het gymnasium. In Groningen studeerde hij wiskunde. Hij ontmoette daar de Zuid-Afrikaanse astronoom Gill die hem overhaalde bij hem te komen werken. Op advies van zijn ouders maakte hij eerst zijn studie af. In Zuid-Afrika leerde hij zijn echtgenote kennen. In 1908 werd hij hoogleraar in Leiden. Hij heeft twee jaar moeten kuren in een sanatorium in Zwitserland. In 1928 organiseerde hij een groot internationaal congres en vroeg de deelnemers om tijdens het officiële diner geen oorlogsdecoraties te dragen. Hij is overleden aan longontsteking.

SOMMERFELD, ARNOLD (1868 -1951)
Zijn vader was huisarts. Hij was klein en gedrongen van postuur, maar hij had een gigantische gekrulde snor. Na het aan de macht komen van Hitler heeft hij voor talrijke joden werk in het buitenland gevonden. Toen hij in 1939 met pensioen wilde gaan wenste hij dat Heisenberg hem zou opvolgen, maar de regering benoemde een nazi zonder wetenschappelijk niveau. Sommerfeld heeft zijn boeken mee naar huis genomen en heeft tot na de oorlog geen contact met de universiteit gehad. In 1951, tijdens een wandeling met zijn kleinkinderen, werd hij door een auto aangereden en overleed enkele weken later.

STRATTON, FREDERICK (1881 - 1960)
Was tijdens de Eerste Wereldoorlog luitenant-kolonel en kreeg een hoge onderscheiding. Hij werd in 1928 hoogleraar in Cam-

bridge. Studenten noemden hem, vanwege zijn militaire manier van optreden, professor kolonel Stratton. Beroemd was zijn 'quiet' waarmee hij een zaal studenten stil kreeg. Hij had een niet te evenaren energie. Maakte van elke gebeurtenis, hoe onbenullig ook, een korte aantekening. Hij bleef vrijgezel.

SZILARD, LEO (1898 -1964)
Hongaars natuurkundige die in Berlijn werkte. In 1930 zag hij al aankomen dat hij voor de nazi's zou moeten vluchten en hij had daarom twee gepakte koffers klaar staan. Enkele dagen na de brand in de Rijksdag nam hij de trein naar Wenen en reisde vervolgens naar Engeland. Hij wilde daar biologie gaan studeren. In de krant las hij dat volgens Rutherford kernenergie een onzinnig idee was. Dit stimuleerde hem kernfysisch onderzoek te gaan doen. Hij was één van de initiatiefnemers van de Pugwash-conferenties waarbij onderzoekers uit Oost en West over de gevaren van het nucleaire tijdperk kunnen spreken. Hij is van plan geweest een autobiografie te schrijven en had zijn archief al geordend. Door ziekte is dat er niet van gekomen. Wel heeft hij in het ziekenhuis herinneringen op de band ingesproken.

TELLER, EDWARD (1908 -)
Zoon van een joods jurist in Budapest. Hij studeerde in Duitsland. In München sprong hij van een rijdende tram en kwam er gedeeltelijk onder waardoor zijn rechter voet vlak boven de enkel werd afgerukt. Toen Hitler aan de macht kwam vluchtte hij naar Engeland. Zijn ouders en zus bleven in Hongarije. Sinds het begin van de Tweede Wereldoorlog heeft hij de ontwikkeling van nieuwe wapens telkens weer gesteund. In het proces tegen Oppenheimer was hij de enige fysicus die tegen Oppenheimer wilde getuigen waardoor hij zeer geïsoleerd is geraakt van zijn collega's. Hij is één van de meest omstreden wetenschappers van onze tijd. Kort na het overlijden van zijn vader in 1950 werden zijn moeder en zus naar het platteland verbannen. Ze kregen in 1959 toestemming naar de Verenigde Staten te emigreren.

WEIZSÄCKER, CARL VON (1912 -)
Heeft zich na de oorlog verzet tegen de ontwikkeling van

Duitse kernwapens onder meer door in 1957 de verklaring van Göttingen te ondertekenen. Hierin verklaarden achttien vooraanstaande natuurkundigen dat ze op geen enkele wijze betrokken wilden worden bij het vervaardigen, testen of inzetten van dergelijke wapens. Zijn broer Richard is president van de Bondsrepubliek Duitsland. Zijn vader was van 1938 tot 1943 staatssecretaris van buitenlandse zaken en werd na de oorlog veroordeeld tot een gevangenisstraf van zeven jaar.

LITERATUUR

1 DE FYSICI

Ruth Moore
Niels Bohr. The Man, His Science, and the World They Changed
The MIT Press, 1985

Otto Frisch
What little I remember
Cambridge University Press, 1979

2 DE ASTROFYSICUS

A.V. Douglas
The life of A.S. Eddington
Thomas Nelson, 1956

W.H. McCrea
Recollections of Sir Arthur Eddington O.M., F.R.S.
28 December 1882 - 22 November 1944
Contemp. Phys., 1982, vol. 23 no 6, 531

S. Chandrasekhar
Eddington - The most distinguished astrophysicist of his time
Cambridge University Press, 1983

3 EEN GEKLEURDE JONGEN UIT DE KOLONIE

Kameshwar C. Wali
Chandrasekhar vs. Eddington - an unanticipated confrontation

Physics Today, 1982, vol 35 no 10, 33

S. Chandrasekhar
The Richtmeyer Memorial Lecture - Some Historical Notes
American Journal of Physics, 1969, vol 37 no 6, 577

4 HA! EEN VROUW

Katherine Haramundanis
Cecilia Payne - Gaposchkin an autobiography and other recollections
Cambridge University Press, 1984

Vera Rubin
Women's work
Science 86, July/August, 58

Barbara Lotze ed.
Making Contributions: An Historical Overview of Women's Role in Physics
American Association of Physics Teachers, 1984
Department of Physics and Astronomy
University of Maryland
College Park, Maryland 20742, USA

Otto Struve
About a Russian Astronomer
Sky and Telescope, June 1957, 379

Robert A. McCutcheon
Stalin's Purge of Soviet Astronomers
Sky and Telescope, October 1989, 352

5 DE ENERGIE VAN DE ZON

William. L. Shirer
Opkomst en Ondergang van het Derde Rijk

Hoofdstuk 7: De nazificering van Duitsland 1933 -1934
H.J.W.Becht's Uitgeversmaatschappij N.V., Amsterdam

Jeremy Bernstein
Hans Bethe, Prophet of Energy
Basic Books, Inc. Publishers, New York, 1980

Alan D. Beyerchen
Scientists under Hitler
Politics and the Physics Community in the Third Reich
Yale University Press, New Haven and London, 1977

Dit boek is in het Nederlands vertaald:
Wetenschap in Nazi-Duitsland
Het Spectrum, Utrecht, 1982

Walter M. Elsasser
Memoirs of a Physicist in the Atomic Age
Science History Publication, New York, 1978

Herbert Blankenstein en Wim C. Turkenburg
De beweging voor de Arische natuurkunde
Spiegel Historiael, november 1981, 627

6 DE VERANTWOORDELIJKHEID VAN DE FYSICI

Willem de Ruiter en Bart van der Sijde
De nucleaire erfenis
Natuurwetenschap, technologie en kernbewapening in historisch perspectief
Hoofdstuk 3: Het Manhattan Project
Boom, Meppel, 1985

Winston Churchill
Memoirs over de Tweede Wereldoorlog, deel 5
Hoofdstuk 12: Pearl Harbor
Elsevier, Amsterdam, 1950

Emilio Segrè

Enrico Fermi Physicist
The University of Chicago Press, 1970

7 EEN SPEL MET GETALLEN

Olga S. Opfell
The Lady Laureates
Women who have won the Nobel prize
The Scarecrow Press, Inc. 1978

Robert G.Sachs
Maria Goeppert Mayer, two-fold pioneer
Physics Today, February 1982, 46

8 GEORGE GAMOV AND MR. C.G.H. TOMPKINS

George Gamov
My World Line, An Informal Autobiography
The Viking Press, 1970

9 B KWADRAAT FH

Observing Astronomers: An Interview with Geoffrey and Margaret Burbidge
Mercury, July/August 1975, 11

Fred Hoyle
The small world of Fred Hoyle
Michael Joseph, Londen

Dennis Overbye
The man who believes in forever
Discover, May 1982, 69

Fred Hoyle
The Black Cloud
Penguin Books, 1965

Fred Hoyle
Astrochemistry, Organic Molecules and the Origin of Life
Mercury, The Journal of the Astronomical Society of the Pacific, January-February 1978, 2

Fred Hoyle, Chandra Wickramasinghe and John Watkins
Viruses from space
University College Cardiff Press, 1986

10 EEN HEELAL VAN GEMISTE KANSEN

R. Berendzen, R. Hart, D. Seeley
Man Discovers the Galaxies
Section 4: The birth of modern cosmology
Science History Publications
A division of Neale Watson Academic Publications, Inc.,
New York,1976

D.T. Wilkinson en P.J.E. Peebles
Discovery of the 3K radiation in:
K. Kellermann and B. Sheets, ed.
Serendipitous discoveries in radioastronomy
distributed by: National Radio Astronomy Observatory
Greenbank, WV, USA

11 VERLEDEN

Steven Weinberg
The first three minutes
Basic Books Inc. Publishers, 1977
Dit boek is in het Nederlands vertaald:
De eerste drie minuten.
Natuur en Techniek, 1983

12 HEDEN BESTAAT NIET

K.R. Lang and G.S. Mumford

A New Look at the Hubble Diagram
Sky and Telescope, February 1976, 83

E. R. Harrison
Cosmology, The Science of the Universe
9. Black holes
Cambridge University Press, 1981

13 TOEKOMST

Jamal N. Islam
The Ultimate Fate of the Universe
Sky and Telescope, January 1979, 13

John D. Barrow and Frank J. Tipler
The Anthropic Cosmological Principle
10.5 The Future Evolution of Matter: Quantum Timescales
Oxford University Press, 1988

14 ACHTER ELKE NAAM EEN VERHAAL

Ch. Gillispie
Dictionary of Scientific Biography
Charles Scribner's Sons, New York, 1973

Orbituary Notices in:
- Monthly Notices of the Royal Astronomical Society
- Quaterly Journal of the Royal Astronomical Society

R. L Weber
Pioneers of Science, Nobel Prize Winners in Physics
The Institute of Physics, Londen, 1980

Nobel Lectures Physics
Elsevier, Amsterdam

Nobel Lectures Chemistry
Elsevier, Amsterdam

E. Curie
La vie de Madame Curie
Dit boek is in het Nederlands en Engels vertaald.
Madame Curie, haar leven en werk
Leopold, Den Haag, 1980
Madame Curie
Heineman, Londen, 1962

Otto Frisch
What little I remember
Cambridge University Press, 1979

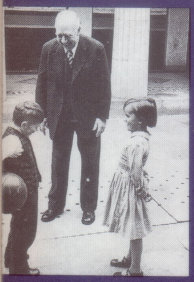
H. Levi
George de Hevesy, life and work
Adam Hilger Ltd, Bristol and Boston, 1985

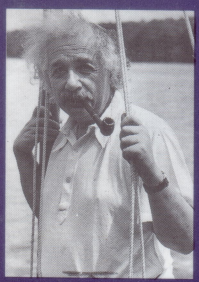
J. L. Heilbron
The Dilemmas of an Upright Man,
Max Planck as spokesman for German Science
University of California Press, Londen, 1986

G. Bailey
The Making of Andrej Sacharov
Allen Lane The Penguin Press, Londen, 1989

L. Szilard in:
The Intellectual Migration
D. Fleming and B. Bailyn ed.
Harvard University Press, 1969

S. Blumberg and G. Owens
Energy and Conflict, The Life and Times of Edward Teller
G.P. Putman's Sons, New York, 1976





Niels Bohr
Albert Einstein
Maria Goeppert-Mayer
Max Born

De laatste zestig jaar is pas duidelijk geworden dat alles in het heelal, van klein tot groot, inclusief het leven, onlosmakelijk met elkaar samenhangt.
De onderzoekers die dit alles ontdekten, behoren tot onze tijdgenoten - de meeste van hen werden minder dan honderd jaar geleden geboren.
De auteur heeft in dit boek een unieke benaderingswijze gekozen: aan de hand van - vaak dramatische - gebeurtenissen in het persoonlijk leven van enkele tientallen van de belangrijkste natuur- en sterrenkundigen van onze eeuw, laat hij ons kennismaken met de ontwikkeling van de atoom- en de waterstofbom en het ontrafelen van de bouw en de evolutie van het heelal.
De auteur laat ons op meeslepende wijze kennismaken met de personen achter de ontdekkingen, van ieder met zijn of haar eigen aard, goede en slechte eigenschappen, blinde vlekken, vooringenomenheid, geldingsdrang of juist bescheidenheid, hetgeen ons doet beseffen dat ook zij, ondanks hun genialiteit zijn: MENSEN ZOALS WIJ.
Er is in de internationale literatuur geen boek dat dit onderwerp op een dergelijke originele en voortreffelijk gedocumenteerde wijze, benadert.

Prof. Dr. E.P.J. van den Heuvel

Hoogleraar Sterrenkunde, Universiteit van Amsterdam

corona 2

ISBN 90 5174 004 2/NUGI 673

BOEKBESPREKINGEN

René van Helden, *Mensen zoals wij: hun speurtocht naar de oorsprong van het heelal.* (Amsterdam: Annex, 1990; ISBN 90-5175-004-2) 175 p., *f* 28,50.

'Mensen zoals wij' heeft geen werkelijke pretenties op wetenschapshistorisch gebied; het is een boekje in het populaire genre. Met een schets van de twintigste-eeuwse ontwikkelingen in de kosmogenie op de achtergrond, tracht de auteur zijn publiek ervan te overtuigen dat de verafgode kanjers van de moderne wetenschap ook maar gewone 'mensen zoals wij' waren. Dit heeft geleid tot een eindeloze aaneenschakeling van anekdotes, die ieder in het algemeen meer tot de verbijzondering van de geleerde dan tot diens vermenselijking kunnen bijdragen.

In de eerste tien korte hoofdstukken dienen de interessante ontwikkelingen in de moderne natuur- en sterrenkunde slechts als kapstok voor het verhalen van opgeklopte anekdotes over het Pauli-effect, Eddingtons fietstochten, Gamovs vlucht voor de terreur van Stalin enz., of voor het prediken van stichtelijke woorden over de verantwoordelijkheid van de natuurkundigen voor de bewapeningswedloop en over de achterstelling van vrouwelijke geleerden. Deze stukjes zijn samengesteld uit bekende biografieën en necrologieën, waarvan de auteur overigens een redelijke lijst heeft toegevoegd.

In de volgende drie hoofdstukken volgt een alleszins begrijpelijke uitleg van het proces van ontstaan en vergaan van sterren, waarin de gerefereerde wetenschappelijke ontwikkelingen eindelijk op hun plaats vallen. Dit gedeelte vormt veruit het meest acceptabele deel van het werkje, maar is niet historisch van aard. Het laatste hoofdstuk tenslotte bevat een mijns inziens overbodige reeks van meer dan dertig korte biografische schetsen, waarbij van iedere geleerde een 'menselijke' eigenaardigheid vermeld wordt. Van Helden is tot het schrijven van dit werkje gekomen naar aanleiding van reacties van studenten op zijn natuurkundecolleges aan het H.B.O. Qua stijl en inhoud lijkt hij zich echter vooral te richten tot een publiek van middelbare scholieren, voor wie dit werkje als eerste oppervlakkige, maar wellicht amusante kennismaking met de twintigste eeuwse (astro-)fysica niet onaardig lijkt. Helaas ontbreken de foto's die bij een dergelijk populair werkje wel op zijn plaats geweest zouden zijn.

H.G. Heijmans

M. van Wijhe, *From Stupefaction to Narcosis. A Study of the Development of Inhalation Anaesthesia in the Surgical Department of the Leiden Academic Hospital.* (Alkmaar: Slinger, 1991; ISBN 90-9004038-2), 150 p., ill.

Bedwelming (stupefaction) bij operaties — een Amerikaanse uitvinding in 1846 — heeft zeer snel wereldwijd ingang gevonden. Het contrast met de verschrikkingen uit het tijdperk zonder verdoving moet zo groot zijn geweest, dat de vrij grote gevaren van de nieuwe methode op de koop toe werden genomen. Gebruikt werden ether en chloroform als monanestheticum, dat dus zowel pijn, bewustzijn als spierreflexen moest uitschakelen.
Merkwaardig is dat deze primitieve vorm van narcose, op enkele uitzonderingen na, bijna overal onveranderd heeft stand gehouden gedurende ongeveer 100 jaren. Een van die uitzonderingen was de Leidse chirurgische universiteitskliniek.
Het hier besproken proefschrift schetst de ontwikkelingen in de anesthesie aan deze kliniek gedurende de periode 1850 tot 1930. Op de achtergrond worden de mondiale ontwikkelingen op dit gebied besproken.
Het bronnenmateriaal bestaat uit jaarverslagen van de chirurgische kliniek uit de jaren 1860 tot 1900, die in de vorm van dissertaties verschenen. In 1925 (W.C. Meiss) en in 1928 (T. Mansoer) zagen twee proefschriften in Leiden het licht, speciaal gewijd aan de anesthesie aldaar. In 1908 (M.J. Visser, Amsterdam) en in 1909 (A.L.M. Muskens, Utrecht) waren in ons land reeds twee dissertaties over narcose verschenen. Voorts werd veel buitenlandse literatuur bestudeerd en zijn noten en literatuurverwijzingen aan ieder hoofdstuk toegevoegd.
Na een inleiding en uiteenzetting over de theoretische aspecten van de inhalatie-anesthesie worden hoofdstukken gewijd aan ether-, chloroform- en lachgasnarcose, problemen in de praktijk daarvan in de 19e eeuw, de effecten op ademhaling en bloedsomloop en het gebruik van lokale anesthesie.
Centraal staat echter de beschrijving van de invoering van de lachgas-narcose als routinemethode in de Leidse kliniek door de chirurg-hoogleraar J.H. Zaaijer (1915-1932), die daarmee een voortrekkersrol in Nederland en ook wel op het vasteland van Europa vervulde. Hij werd echter niet begrepen en vond geen navolging. Ongenoegen met de gevaren van ether- en chloroformnarcose en de wens in de thoraxholte te kunnen opereren brachten hem na uitvoerige proefnemingen sinds 1909 tot de overdruk-lachgasnarcose, waarvoor hij een speciaal toestel ontwierp.
Interessant is een hoofdstuk over (het gebrek aan) integratie van nieuwe fundamentele fysiologische en farmacologische kennis in de kliniek. Onduidelijkheid op het gebied van begrippen en definities (shock, collaps, syncope e.d.) droeg bij aan onbegrip en verwarring.
De chirurgen, hun verantwoordelijkheid tegenover de patiënt niet willende

delen met anderen, hebben sterk remmend gewerkt op de ontwikkeling van verantwoorde anesthesie en op de vorming van het vak als specialisme. Dit betrof vooral de Duitstalige chirurgen op wie de Nederlandse chirurgen nog tot halverwege de 20e eeuw sterk waren georiënteerd. Vóór 1940 waren er in Nederland slechts vier anesthesisten. In Amerika en Engeland is de ontwikkeling anders geweest.
Aan het proefschrift is een nuttige appendix toegevoegd over oude anesthesie-apparatuur. Bovendien wordt een uittreksel gegeven van een collegedictaat over anesthesie uit 1899 en wordt de rectorale rede over betekenis en behandeling van pijn afgedrukt die Zaaijer in 1932 had willen houden.
Het proefschrift bevat 9 tabellen, 12 illustraties en een naams- en onderwerpsindex.
Samenvattend: er wordt een beknopte, goed gedocumenteerde en kritische studie gepresenteerd over de vroege anesthesie speciaal in Leiden. Belangstellenden wijs ik nog op het gedenkboek van de Nederlandse Vereniging voor Anaesthesie: *Van aether naar beter* (Uitg. Bunge, 1988).

P.J. Kuijjer

Albert Einstein, *Mijn kijk op het leven.* Verzamelde teksten 1914-1933, deel 1 (Amsterdam: Annex, 1990; Corona, nr. 4; ISBN 90-5174-006-9) 208 p., *f* 34,50.

Voor wie het nog niet wist: Albert Einstein was een bijzonder mens. Dat is één van de dingen die opvalt bij het lezen van de nieuwe Nederlandse vertaling van Einstein's *Mein Weltbild.* Wat vervolgens opvalt is hoe weinig zin het heeft om een onsamenhangend pak teksten van zo'n bijzonder mens zonder commentaar uit te geven. In 1934 (het jaar van de oorspronkelijke Duitse uitgave) lag dat anders. Einstein was toen net uit Duitsland vertrokken, en in de Duitse pers werd een verwrongen beeld van hem gegeven. Op aandringen van vrienden heeft hij toen ingestemd met de uitgave van deze compilatie van teksten over uiteenlopende onderwerpen. Bij wijze van verweer zou je kunnen zeggen. In de meer recente literatuur wordt Einstein echter nog maar zelden afgeschilderd als een Duitslandhater. Een bijstelling van het beeld van Einstein is in dat opzicht ook niet nodig. Daarom zit er ook niemand te wachten op een nieuwe vertaling van dit boek. En al zeker niet op een vertaling, waarbij het commentaar beperkt is tot een klein aantal (deels incorrecte) noten. Zelfs zo'n summier verhaal als ik hier boven heb gegeven is in deze uitgave achterwege gelaten. Einstein zou er dan ook vast niet blij mee geweest zijn. En de argeloze koper zal dat ook niet zijn. Niet kopen dus.

Anne C. van Helden

W. Veltheer, *Heelkunde te Utrecht op het breukvlak van twee eeuwen. Een onderzoek naar de lotgevallen van de Universitaire kliniek in de periode van 1890 tot 1910.* (Zeist: Kerkebosch, 1989; ISBN 90-6720-053-0) 285 p., ill., *f* 74,50.

In deze studie beschrijft de auteur de ontwikkelingen in de heelkunde in de universitaire kliniek in Utrecht, gedurende een periode van twintig jaar, op het 'breukvlak van twee eeuwen' (de term is ontleend aan een studie van Jan Romein).
Niet alleen heeft de auteur een grondige archiefstudie voor dit doel verricht, maar ook heeft hij nog levende nazaten van de school opgezocht en geïnterviewd. Het verkregen materiaal is zeer zorgvuldig op waarde en belang getoetst en gepresenteerd in een goed leesbaar en goed gedocumenteerd boek. Bovendien houdt dit werk veel meer in dan een overzicht van de ontwikkelingsgang van de heelkunde in de betroffen periode aan één universiteitskliniek.
Het bevat namelijk twee grote verrassingen voor de lezer. Allereerst de nauwe relatie met de Weense school, met name door de leerlingen van Theodor Billroth: de hoogleraren Salzer, Von Eiselsberg en Narath. De heelkundige inzichten en handelingen van deze drie markante persoonlijkheden worden besproken aan de hand van de medische documentatie van het Academisch Ziekenhuis. Ten tweede viel mij de geur van deftigheid op in dit proefschrift. De chirurgen waren opgenomen in de Utrechtse élite, hun culturele belangstelling en beschaving was van hoog niveau. Dat begon al met de muzikale relaties van Theodor Wilhelm Engelmann, hoogleraar in de fysiologie en schoonzoon van Donders. Evenals Billroth was hij een getalenteerd muziekamateur. Billroth onderhield een goede relatie met Engelmann en hij was bevriend met Brahms. Zo begon er behalve een wetenschappelijke ook een muzikale verbinding tussen Utrecht en Wenen te groeien. Friedrich Adalbert Salzer richtte met enkele dames uit de Utrechtse aristocratie de 'Petrus Camper Vereeniging' op. Ook Anton Freiherr von Eiselsberg bewoog zich met zijn echtgenote in de kringen van de Utrechtse hoge adel.
Albert Narath werd door Engelmann voor Utrecht aanbevolen. Narath had de zieke Brahms in Wenen onderzocht op verzoek van Engelmann. Later zou hij met Engelmanns dochter trouwen en betrokken worden in het medisch-muzikale Utrechtse circuit. De stelling van de auteur bij zijn als proefschrift verschenen werk luidt dan ook: "Bij de Utrechtse keuze, in 1890, voor een nieuwe chirurgie naar eigentijdse technische maatstaven, hebben niettemin overwegingen van muzikale aard een doorslaggevende rol gespeeld." Overigens zal de lezer zeker niet de indruk krijgen dat de cultuur in Utrecht de wetenschap heeft verdrongen. Integendeel. De auteur heeft met behulp van statistische gegevens en met een helder overzicht van de ingevoerde operatie-

technieken aangetoond dat Utrecht via de Weense chirurgen zich heeft opgewerkt tot een heelkundige school van Europees niveau. In die tijd moest daaronder de Weens-Duitse benadering worden verstaan: autoritaire leiding, voortreffelijk, zij het 'schools' onderwijs en ijzeren discipline.
Het boek herbergt foto's die gelukkig van een uitstekende kwaliteit zijn. Naast de groepsfoto's, portretten en tekeningen, de straatgezichten uit Utrecht omtrent de eeuwwisseling, trof mij op p. 149 een fraaie foto van het gezin Narath met huispersoneel vanuit de tuin genomen naar de achtergevel. De 'familie' zit voor de serre, de gedienstigen staan stijfjes voor de open ramen op de bovenverdieping. Inderdaad een geur van deftigheid!

A.M. Luyendijk-Elshout

Keith Thomas, *Het verlangen naar de natuur. De veranderende houding tegenover planten en dieren, 1500-1800* (Amsterdam: Agon, 1990; ISBN 90-5157-082-1) 431 p., ill., *f* 49,50 (Vertaling van *Man and the natural world: changing attitudes in England 1500-1800* (London, 1983). Vertaald door Victor Verduin).

Het verlangen naar de natuur is een meesterlijk boek. Wat mij betreft verdient het een plaats in elke boekenkast; ik weet zeker dat zelfs de meest kritische lezer de investering geen moment zal betreuren. Het onderwerp kan geen mens volledig Siberisch laten, en de reputatie van de auteur staat garant voor een erudiet, onderhoudend en vaak geestig betoog. De vertaling, een krachttoer van Victor Verduin, verdient bovendien alle lof, en zo ook de Nederlandse uitgever, die voor een smaakvol boekwerk heeft gezorgd.
Thomas' these is dat er tussen ruwweg 1500 en 1800 een fundamentele verandering is opgetreden in de houding van de mens tegenover de natuur. In de zestiende eeuw overheerste een antropocentrische instelling, die naar men meende door de Bijbel werd gesanctioneerd. De mens was uniek en hij bezat een van God gegeven recht de natuur te domineren en naar believen te exploiteren. Filosofische stromingen, zoals het Cartesiaans dualisme, ondersteunden deze 'harteloze' instelling. De antropocentrische houding brokkelde langzaam af. Thomas schrijft dit deels toe aan de opbloei van de wetenschap. Waren alle sterren die de astronomen zichtbaar wisten te maken er echt alleen om ons bij te lichten? En wat was het nut van de myriaden beestjes die Van Leeuwenhoek in een druppel slootwater zag? Vooral de natuurlijke historie was belangrijk. Planten en dieren werden gaandeweg niet meer vanuit het oogpunt van hun nut voor de mens in categorieën verdeeld, maar op grond van hun intrinsieke eigenschappen. Het nieuwe streven werd het achterhalen van natuurlijke verwantschappen. Aldus werd planten en dieren een autonoom bestaan toegekend, onafhankelijk van de mens. Linnaeus dichtte

bovendien de eertijds onoverbrugbare kloof tussen de mens en de rest van de levende natuur door de mens in zijn systeem bij de primaten onder te brengen. Naast nieuwe wetenschappelijke gegevens leidden sociale en economische veranderingen tot een vervaging van het strikte onderscheid. Thomas wijst hierbij allereerst op de pluriformiteit van attitudes in elke periode. Het officiële standpunt over de unieke plaats van de mens was bijvoorbeeld niet absoluut maatgevend voor de houding ten opzichte van het dier in de praktijk. Tegenover de wrede volksvermaken als bullebijten en haneknuppelen en de soms beestachtige exploitatie van huisdieren, staat de nauwe band die velen met hond of kat voelden; het fenomeen gezelschaps- of troeteldier was trouwens al in de oudheid bekend. Toenemende economische welstand leidde ertoe dat de eetbaarheidsfactor langzaam terrein verloor aan de aaibaarheidsfactor. In Engeland profiteerden in de 16e en 17e eeuw vooral kleine zangvogeltjes als het roodborstje van deze verschuiving. De persoonlijke omgang met dieren werkte het vervagen van de kloof in de hand. (Gezelschaps)dieren werden steeds meer vermenselijkt, en later voegde zich daarbij een verdierlijking van de mens door sceptici, vrijdenkers en materialisten.

Wreedheid tegen dieren was in de 16e eeuw een wreedheid uit onverschilligheid. Protesten daartegen werden meestal vanuit menselijk standpunt geformuleerd: wie geen enkel oog heeft voor de nood van een dier, zal dat ook niet hebben voor de nood van een medemens. Meer en meer ontwikkelde zich echter een directe sensibiliteit: dieren hadden recht op een waardige behandeling. En ook hiervoor waren in de Bijbel de bewijsplaatsen te vinden; het menselijk stadhouderschap omvatte naast rechten ook plichten. Meer in het algemeen gold echter dat het veroordelen van wreedheid jegens dieren geen verwijzing naar God of de Bijbel meer behoefde; het was voldoende aan de gevoelens van het dier te refereren.

Sociale invloeden die de verschuiving in de 18e eeuw bevorderden waren onder meer de groei van de steden en de industrialisering, waardoor dieren in het produktieproces een steeds geringere rol gingen spelen. De stedeling kwam ook steeds verder van het produktieproces af te staan. Een ander gegeven is dat voorvechters van dierenrechten vaak tevens tegen slavernij en voor sociale hervormingen ageerden.

Thomas illustreert de veranderingen ook aan de hand van opvattingen over planten. In de 16e eeuw stonden bos en ongerepte natuur voor wild, woest en gevaarlijk. Ontginning en beschaving waren synoniem en men vond dat de kaarsrechte akker het grillige bos verre in schoonheid overtrof. De radicale omslag van deze opvatting die tegen het eind van de 18e eeuw zijn beslag had gekregen, vloeide onder meer voort uit de simpele noodzaak tot grondstofbeheer: hout was onmisbaar als brandstof en bouwmateriaal. Daarnaast wilde men bos behouden voor de jacht; hiertoe hield de adel er particuliere

wildparken op na. Maar de belangrijkste verandering lag besloten in de reactie op ontginning en verstedelijking die na 1770 intrad. Verstedelijking bleek niet alleen meer beschaving voort te brengen, maar ook stank, lawaai en andere 'stedelijke ondeugden'. De reactie hierop was een verheerlijking en idealisering van het 'eenvoudige landleven' en de 'oorspronkelijke' (maar in werkelijkheid overal al verregaand gecultiveerde) natuur, eerst onder de adel, en later ook onder het volk. De wildparken van de aristocratie werden omgevormd tot de typische Engelse landschapsparken, temidden waarvan de stedelijke adel zich ging vestigen. Planten kregen in deze landschapsparken een hoofdzakelijk ornamenteel karakter en verwierven zo 'troeteldierstatus'. Onder de stedelingen deed zich op kleinere schaal hetzelfde voor: de obsessie voor tuinieren werd een van de meest kenmerkende eigenschappen van de Engelse (woon)cultuur. De toenemende welvaart speelde uiteraard ook bij deze tendens een belangrijke rol.

Al deze ontwikkelingen overziend, constateert Thomas tot besluit dat er zich een dilemma openbaart. Enerzijds hebben we te maken met de nieuwe gevoelens en waarden die zich sinds de vroegmoderne tijd ten aanzien van de natuur hebben ontwikkeld — gevoelens die wij volgens Thomas in uitvergrote vorm in onze tijd terugvinden. Anderzijds zijn er de haaks daarop staande behoeften van de beschaving die diezelfde gevoelens heeft voortgebracht. Thomas heft meteen een waarschuwende vinger tegen sociologen en sociaalhistorici: "Al te vaak wordt aangenomen dat gevoeligheden en morele overwegingen niet meer dan een ideologie zijn: een handige rationalisering van de wereld zoals die is. In de vroege nieuwe tijd was het echter bijna omgekeerd, want met onverbiddelijke logica was er geleidelijk een houding ten aanzien van de natuur ontwikkeld die in wezen strijdig was met de richting waarin de Engelse samenleving zich bewoog" (p. 317). Het gaat hier om "illusies waarin waarden worden gekoesterd waarnaar de maatschappij als geheel zich niet kan veroorloven te leven," en dit is "een van de tegenstellingen waarop de moderne beschaving is gegrondvest." (p. 318-319). Het laat zich raden dat menigeen onder Thomas' critici, ondanks de lof die zij hem zonder uitzondering toezwaaien, over dit laatste punt is gevallen. Een ideologie, stelt men, is niet alleen bruikbaar als bekrachtiging of rechtvaardiging van een bestaande praktijk, zij kan ook maskeren, verdoezelen. Voorbeeld: een chemiegigant in Nederland geeft jaarlijks een oogverblindend mooie natuurkalender uit. Een paradox, jazeker, maar een die zo klaar als een klontje is. Een andere vraag is hoe het nu werkelijk met onze gevoeligheid is gesteld. Onze gezelschapsdieren leven als God in Frankrijk (voor zover ze niet doodgeknuffeld worden), maar onze exploitatiemethoden van kippen, varkens en kalveren doen qua rücksichtlose berekening toch niet voor die van de vroegmoderne Engelsman onder. Wij koesteren ons grasveld, maar voeren een chemische oorlog tegen elk andersoortig plantaardig wezen dat zich

tussen de sprietenslagorde durft te nestelen. De vraag is hier wat de verschuiving die Thomas in zijn bronnen signaleert nu eigenlijk te betekenen heeft. Leidde de toegenomen gevoeligheid ook tot een verandering in de praktijk? Hoe betrouwbaar zijn de talloze, sec opgetekende uitspraken, met welke motieven sprak men, en hoe representatief waren die uitspraken?
Het zijn gerechtvaardigde klemmende vragen, en het is evident dat Thomas' methode van bronbewerking en presentatie ze niet kan beantwoorden. Maar hier zou ik toch tegenover willen stellen dat juist aan Thomas' methode de grote zeggingskracht van zijn werk te danken is. Hij ontleent zijn gegevens aan een fenomenaal breed spectrum van bronnen, van wetenschappelijke publikaties tot dagboeken, van correspondenties tot poëziebundels, van tuincatalogi tot romans, van dagbladen tot schilderijen. En hij bestrijkt met zijn onderzoek een periode van drie eeuwen. Het is dan geen wonder dat hij de bronnen voor zichzelf wil laten spreken en probeert om over langere tijd verschuivingen in kaart te brengen. Het fascinerende, kaleidoscopische beeld dat deze aanpak oplevert, behoeft geen verdere rechtvaardiging. Men moet de beuk niet verwijten dat hij geen eik is; de genoemde meer specifieke vragen vergen een andere aanpak en zouden een totaal ander boek opleveren. Bovendien moet niet worden vergeten dat Thomas' studie die vragen ook nog eens mogelijk heeft gemaakt; zij bewijzen in feite de enorme vruchtbaarheid van het terrein dat hij als een van de eersten toegankelijk heeft gemaakt.

Bert Theunissen